

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий

Кафедра «Горные машины и комплексы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.В. Гилев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

**21.05.04 «Горное дело»**

(специальность)

**21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»**

(специализация)

**«Разработка и расчет системы создания благоприятного микроклимата  
в модульной кабине карьерных экскаваторов».**

тема

Руководитель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Карепов В.А.

Выпускник

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Моргунов С.Ю.

Консультанты:

Экономическая часть

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Бурменко А.Д.

Безопасность

жизнедеятельности

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Капличенко Н.М.

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Карепов В.А.

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт горного дела, геологии и геотехнологий  
Кафедра «Горные машины и комплексы»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В.Гилёв

подпись    инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме дипломной работы**

бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской  
диссертации

Студенту Моргунову Сергею Юрьевичу

\_\_\_\_\_  
фамилия, имя, отчество

Группа ГМ 12-13 Направление (специальность) 21.05.04

\_\_\_\_\_  
номер

\_\_\_\_\_  
код

Горное

дело

\_\_\_\_\_  
наименование

Тема выпускной квалификационной работы Разработка и расчет создания благоприятного микроклимата в модульной кабине карьерных экскаваторов

Утверждена приказом по университету № 705/с от 23 января 2018

Руководитель ВКР Карепов В.А.

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР теплоизоляционные параметры унифицированной модульной кабины экскаваторов и требования к параметрам микроклимата в кабине оператора

\_\_\_\_\_

Перечень разделов ВКР \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Перечень графического материала расчетное положение оператора, предлагаемая радиационно-конвективная система нормализации микроклимата в кабине экскаватора, общий вид модульной кабины на экскаваторе типа ЭКГ, стратегия производства экскаваторов на ближайшие годы ИЗ «КАРТЭКС»

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_  
подпись

\_\_\_\_\_  
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
подпись, инициалы и фамилия студента

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Содержание.

Введение.....	6
1. Состояние вопроса, постановка задачи.....	8
1.1 Анализ требований к параметрам микроклимата.....	8
1.1.1 Физиолого-гигиенические требования к параметрам микроклимата в кабинах.....	9
1.1.2 Анализ нормируемых параметров микроклимата и требований к системам отопления кабин.....	14
1.2 Анализ существующих методик расчета систем отопления кабин горных машин.....	13
1.2.1 Системы конвективного отопления.....	16
1.2.2 Панельно-лучистое отопление кабины.....	20
1.2.3 Системы нормализации микроклимата кабин круглогодичного действия.....	20
1.3 Значения некоторых параметров микроклимата кабин из условий теплового комфорта оператора.....	23
1.3.1 Влияние теплоизоляции одежды оператора и физической нагрузки на его теплообмен.....	23
1.3.2 Влияние ассиметричных тепловых воздействий на оператора.....	25
1.3.3 Особенности теплового баланса головы, туловища и ног оператора горной машины.....	29
1.3.4 Наружные климатические условия.....	30
1.4 Выводы и постановка задачи.....	32
2. Проектирование и расчет систем нормализации микроклимата кабин.....	34
2.1 Обоснование выбора параметров модульной кабины и отопительных приборов.....	34
2.2 Расчет систем нормализации микроклимата для теплого времени года.....	34
2.2.1 Выбор типа системы нормализации микроклимата.....	38
2.2.2 Расчет нормализации микроклимата для холодного времени года.....	40
2.3.1 Выбор рациональной схемы распределения тепла и воздуха в кабинах горных машин.....	43
2.3.2 Расчет теплоотдачи отопительных приборов.....	45
2.3.3 Радиационная температура в кабине.....	48
2.3.4 Расчет теплового баланса кабины с окружающей средой.....	49

3. Экономическая часть.....	52
4. Безопасность жизнедеятельности.....	63
4.1 Общие требования безопасности.....	63
4.2 Требования безопасности перед началом работы.....	66
4.3 Требования безопасности при выполнении работы.....	66
5. Заключение.....	68
Приложение 1.....	69
Приложение 2.....	73
Список литературы.....	81

## **Введение.**

Одним из основных направлений повышения технического уровня горных машин является улучшение их эргономических параметров. Современная кабина должна обеспечивать оператору защиту от неблагоприятного воздействия внешних метеорологических условий, в ней должны быть созданы комфортные условия, способствующие его производительной и безопасной работе, полноценному отдыху в перерывах. Комфортные условия рабочего места оператора определяется рядом факторов, к числу которых в первую очередь относятся параметры микроклимата.

Неблагоприятный микроклимат во время работы нарушает нормальное тепловое состояние оператора, вызывает недомогание, преждевременную усталость организма, нарушает умственную и нервную деятельность, уменьшая наблюдательность и снижая быстроту реакции. Почти 50% профессиональных заболеваний операторов связано с отрицательным воздействием микроклимата. Неблагоприятный микроклимат снижает производительность труда на 20% и более.

Учитывая, что большая часть горных машин в нашей стране эксплуатируется в зоне холодного и умеренного климата, отопление кабин имеет решающее значение для создания теплового комфорта оператору при низких температурах наружного воздуха.

Изучение конструкций и систем отопления кабин горных машин, обзор работ по созданию средств нормализации микроклимата в помещениях малого объема показали, что практические разработки во многих случаях не имеют достаточного научного обоснования. Часто отопительные устройства выбираются только по показателю теплопроизводительности, размещаются большей частью внутри кабин горных машин, вопросам распределения тепла и воздуха не уделяется необходимого внимания.

Нет единства в выборе номенклатуры параметров, их допустимых и оптимальных значений в ГОСТах, требованиях и других нормативных документах в части микроклимата.

Методики расчетов систем отопления учитывают только теплообмен между кабиной и окружающей средой, преимущественно в установившемся тепловом режиме, разрозненны, не отражают всех факторов, формирующих микроклимат. В расчетах не учитывается физическая нагрузка оператора, теплоизоляция его одежды, требования к его тепловому комфорту. В связи с этим при проектировании нельзя выбрать оптимальные параметры отопительного и вентиляционного оборудования, теплоизоляционные свойства кабины, оценить степень рациональности распределения тепловых потоков в ней.

Необходимо уточнение методики расчета теплового режима кабин горных машин с учетом достижений смежных отраслей науки и техники:

авиации, космонавтики, промышленного и гражданского строительства, достигших значительных успехов в нормализации микроклимата из условий теплового комфорта человека.

Целью настоящей работы является разработка энергоэкономических систем отопления, обеспечивающих заданные условия в кабинах горных машин.

## **1 Состояние вопроса, постановка задачи.**

### **1.1 Анализ требований к параметрам микроклимата.**

Микроклимат в кабине оператора горной машины определяется следующими параметрами рабочей среды: температурой поверхности ограждений, температурой, относительной влажностью и подвижностью воздуха, интенсивностью проникающей солнечной тепловой радиации.

Одной из важнейших задач является поддержание указанных параметров в таких допустимых диапазонах, в таком сочетании, которое обеспечит оптимальное тепловое состояние организма оператора, высокую его производительность труда. Решение данной задачи осложняется тем, что оно затрагивает аспекты технической, строительной, биологической, медицинской и психологической наук.

Высокий уровень научных исследований и проектных решений достигнут в авиации, космонавтике, промышленном и гражданском строительстве по созданию комфортного микроклимата на рабочем месте. Однако, условия работы операторов горных машин значительно отличаются от условий труда операторов стационарных установок и в цехах, в кабинах авиалайнеров. Оператор горной машины находится на протяжении всей рабочей смены в кабине малого объема, от 2-х до 5 м<sup>3</sup>, как правило, вдали от производственных и других баз, зачастую один с машиной в полевых условиях.

Отличительной чертой кабин горных машин от других кабин транспортных средств является высокий уровень остекленности ограждений, при этом передние стенки кабин в большинстве случаев остеклены полностью. У ряда машин кабины выполняются без полов. Полom является балконный лист поворотной платформ машины, на которой устанавливается кабина. Поэтому в данных конструкциях не решена проблема герметизации, теплоизоляции и обогрева поверхности полов, что значительно влияет на равномерность нагрева воздуха в кабине по высоте.

Кроме этого, на равномерность нагрева воздуха влияет и геометрия кабин. Так в кабинах горных машин, при малой площади пола и вытянутости кабины вверх, затрудняется перемешивание воздуха, в результате чего при конвективных способах обогрева у потолка всегда поддерживается более высокие температуры, чем у пола или в середине кабины.

Ограждение конструкции кабин: стены, остекление, пол, потолок, пульты управления, расположены в непосредственной близости от оператора и имеют в зимнее время температуру более низкую, чем температура воздуха в кабине.

Особое значение в этих условиях для теплоощущений оператора имеет сочетание температур воздуха в кабине, температуры внутренних поверхностей и скорости движения воздуха. Температура поверхностей определяет радиационную температуру. Эта температура средняя по



признаку эквивалентности лучистого теплообмена оператора с окружающими поверхностями.

Особенностью серийных кабин горных машин является еще и то что ограждения кабины оператора часто имеют различные термические сопротивления, следовательно и различные температуры внутренней поверхности, что приводит к асимметричному лучистому теплообмену оператора.

### **1.1.1 Физиолого-гигиенические требования к параметрам микроклимата в кабинах.**

Энергетический баланс человека должен рассматриваться как с учетом процессов, происходящих внутри организма, так и с учетом теплообмена между телом и окружающей средой. При этом передача тепловой энергии от внутренних органов к коже происходит на основе физиологических закономерностей, а с поверхности кожи в соответствии с физическими.

Система терморегулирования организма позволяет в определенных пределах поддерживать баланс продуцируемого и теряемого телом тепла, но возможности ее ограничены. Рефлекторные реакции при воздействии холода направлены на сохранение тепла, при этом подкожные сосуды сужаются и теплоотдача человека может уменьшиться на 16 и даже на 33% . При дальнейшем охлаждении организма возрастает его мышечная активность, которая значительно, в 4-5 раз, может увеличивать теплообразование в организме. Однако существуют пределы физических возможностей человека, после которых возникают необратимые процессы в организме, приводящие к заболеваниям и даже смерти человека.

Ориентировочные усредненные значения предельного температурного порога для человека в летней одежде составляют от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  при длительном его пребывании в такой среде.

Необходимо исходить из того, что параметры микроклимата должны обеспечивать оптимальные условия, то есть тепловой комфорт оператору. Под тепловым комфортом при этом понимают такие метеорологические условия, когда при субъективно хорошем теплоощущении тепловое равновесие организма обеспечивается без напряжения терморегуляторного аппарата и физиологические сдвиги не выходят за пределы обычных колебаний. При этом обеспечивается оптимальная динамика работоспособности оператора, его хорошее самочувствие и сохранение здоровья.

При определении теплового комфорта оператора горной машины следует учитывать также его физическую нагрузку и теплоизоляции одежды. Кроме этого надо учитывать, что определенное напряжение системы терморегуляции не только не вредно, но и полезно. При этом предпочтение отдается динамичному, пульсирующему микроклимату. Знание границ возможных колебаний климатических условий в кабинах позволит проектировать автоматические регулируемые системы отопления и

вентиляции. А усредненные значения, соответствующие наименьшей нагрузке терморегуляторного аппарата, должны служить нормой, по которой необходимо производить теплотехнические расчеты теплоизоляции кабин и производительность систем отопления.

Самочувствие оператора, его ощущение теплового комфорта зависит от теплового равновесия системы "человек – одежда -рабочая среда", определяемого параметрами микроклимата в кабине, условием активности работы оператора и термическим сопротивлением его одежды.

Около 10% тепла от человека отводится независимо от состояния окружающей среды. На 90% теплоотдача человека в окружающую среду происходит тремя путями: излучением, конвекцией и испарением влаги и пота.

Доля отдельных процессов теплоотдачи при комфортных тепловых условиях среды и состоянии покоя человека в тепловом балансе организма по данным различных авторов представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1

Процесс отдачи тепла	Рубнер	Беннидикт Миллер	Бютнер	Добуа	Латавет	Витте
Конвекция	30,8	74,6	26	10-12	15,3	33,1
Излучение	43,7		42	60	55,6	43,8
С выдыхаемым воздухом	7,3	12,4	12	-	-	-
Потоотделением	18,2	13,0	20	24-25	29,1	23,1

Доля теплообмена излучением с увеличением физической нагрузки несколько снижается, и для операторов горных машин, в основном выполняющих работу средней тяжести, она составляет при тепловом комфорте и равенстве радиационной температуры и температуры воздуха в кабине менее 40%

В целом энергетический баланс организма оператора выражается уравнением:

$$Q_{\text{ч}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{у}} + Q_{\text{РГ}} + Q_{\text{Фз}} \quad (1.1)$$

где  $Q_{\text{Фз}}$  - тепло, затрачиваемое на физиологические процессы, составляет около 12 Вт и в расчетах его можно не учитывать.

На рис 1.1 приведена схема влияния внешних факторов на тепловое состояние человека - оператора в кабинах горных машин. Из нее видно, что тепловой режим, а значит и тепловой комфорт оператора, зависят от его суммарного тепловыделения, термического сопротивления одежды оператора, теплового режима кабины и интенсивности теплообмена человека и рабочей среды.



Рис 1.1 . Схема влияния различных факторов на тепловое состояние оператора, находящегося в кабине

Общие энергозатраты тепловыделения  $Q_{\text{ч}}$  организма оператора, теплоотдача испарением  $Q_{\text{и}}$  и энергозатраты  $Q_{\text{PG}}$  на выполнение физической работы в зависимости от категории тяжести труда операторов определены в ряде работ, представленных в трудах НИИ – Стройдормаша.

На большинстве горных машин оператор выполняет физическую работу средней тяжести ( $Q=2\ 3\ 0\ B\ m$ ), а при отдыхе находится в состоянии покоя ( $Q=100\ Bт$ ). Энергия, затрачиваемая на перемещение и удержание рычагов и педалей управления  $Q_{\text{PG}}$  составляет около 10% от общих энергозатрат. Эти энергозатраты, идущие на выполнение физической работы для операторов горных машин, изменяются в незначительных пределах, в нашей работе не исследуются, а только учитываются в общем теплообмене оператора.

При встречающихся в кабинах горных машин и требуемых нормативными документами значениях влажности и подвижности воздуха, при температуре в кабине ниже  $20^{\circ}\text{C}$ , количество тепла отдаваемое испарением можно считать постоянным и составляющим в среднем 24% от общих энергозатрат.

Следовательно, энергия организма операторе при работе на горной машины, при его тепловом комфорте расходуется в среднем: излучением - 40%, конвекцией - 26%, испарением - 24%, на выполнение физической работы - 10%.

Такое соотношение расхода энергии будем считать стереотипным, т.е. исторически сложившимся и наиболее благоприятным с учетом длительной работы оператора в кабине. Значительные отклонения от стереотипности теплообмена будут отрицательно сказываться не тепловосприятие оператора, его самочувствие и на производительность.

Сочетание радиационной температуры и воздуха определяет температурный режим кабин. Лучшим сочетанием считается их равенство при комфортных значениях. Кроме комфортных значений температур нормативными документами предусматриваются допустимые значения, которые создают некоторое напряжение терморегуляторного аппарата организма, вызывают неприятные субъективные ощущения, но физиологические сдвиги при этом не выходят за пределы опасных колебаний.

Рекомендуемые физиологами и гигиенистами комфортные диапазоны температур воздуха (при условии равенства температуры воздуха и поверхности ограждения) для работников умственного труда составляют  $20 + 25^{\circ}\text{C}$ , для работников занятых легким физическим трудом -  $17 + 21^{\circ}\text{C}$ , тяжелый физическим трудом -  $12 + 17^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность должна быть  $35 + 60\%$ , подвижность воздуха – в пределах  $0,1 + 0,5\ \text{м/с}$ .

### **1.1.2 Анализ нормируемых параметров микроклимата и требований к системам отопления кабин**

Требования к параметрам температуры воздуха в кабинах горных машин предусматривают поддержание в зимний период допустимую

температуру  $t_b \geq 14^{\circ}\text{C}$ , в летний период  $t_b t_n \leq 3^{\circ}\text{C}$  при  $t_b \leq 25^{\circ}\text{C}$ . Скорость движения воздуха – не более 1,5 м/с. Перепад температуры воздуха и температуры ограждений не нормируются.

Для кабин горных машин рекомендуются комфортные значения  $18 + 20^{\circ}\text{C}$  при относительной влажности 30-50% и скорости воздуха 0,3 м/с. Перепад температуры воздуха по высоте кабины не более 5 градусов. Температура поверхности стен не ограничивается.

В работе для операторов ограничивается перепад температур воздуха в районе ног и корпуса оператора в 6 градусов, скорость движения воздуха в зависимости от параметров микроклимата – 0,6-0,7 м/с. Значения температуры ограждений для летнего периода не более 35 градусов, в зимнее время – не более, чем на 3 градуса ниже температуры воздуха в кабине (кроме остекления).

Требованиями ГОСТа 12.2.023.76 к системам отопления указывается на необходимость обеспечения температуры воздуха в зоне ног, головы и пояса оператора  $+15^{\circ}\text{C}$  при наружной температуре до минус 25 градусов. При этом температура в зоне головы должна быть на  $3-5^{\circ}\text{C}$  ниже, чем в зоне ног. При наружной температуре минус  $40^{\circ}\text{C}$  допускается снижение температуры воздуха в кабине до  $+10$  градусов. Указывается также на необходимость воздухообмена и регулирования теплопроизводительности и направления потоков воздуха в кабине. Температура ограждений кабины оператора ограничивается  $45^{\circ}\text{C}$ .

Гост 12.2.019.-76, определяющий параметры микроклимата кабин горных машин, регламентирует нижний предел температуры воздуха в кабине  $+14$  градусов и перепад ее по высоте не более 4 градусов. Скорость воздуха при его температуре  $+22$  градуса не более 0,5 м/с, при более высокой температуре до 1,5 м/с. Температура внутренних заграждений кроме остекления должна быть не более 35 градусов. По нижнему пределу ограничений для температуры поверхностей нет.

Единые требования безопасности к конструкциям горных машин предусматривают создание температуры воздуха в кабине в зимнее время не менее  $14^{\circ}\text{C}$ , в летнее – плюс  $31^{\circ}\text{C}$ , допускается и  $33^{\circ}\text{C}$ . Скорость движения воздуха – до 0,5 м/с в зимнее время и 1,5 м/с – в летнее. Относительная влажность должна находиться в пределах 30-80%. Температура ограждений кабины нормируется только из условий безопасности – не выше  $45^{\circ}\text{C}$ .

Большинство стандартов на отдельные виды машин нормируют параметры микроклимата в соответствии с ГОСТ 12.2.065-76 "Воздух рабочей зоны", в котором указаны допустимые и комфортные значения температуры, скорости движения и относительной влажности воздуха рабочей зоны. Перепад температур нормируется  $2+3^{\circ}\text{C}$ . Показатели температуры ограждений не нормируются.

ГОСТ 22627-77 "Стреловые самоходные крана" дополнительно указывает, что при наружной температуре  $10^{\circ}\text{C} \geq t_m \geq -20^{\circ}\text{C}$  температура воздуха в кабине должна быть не менее  $14^{\circ}\text{C}$ , а перепад температуры не более  $4^{\circ}\text{C}$ , ограничивая тем самым эксплуатационный температурный

диапазон работы машин. В то же время ТУ 22-8448-75 и ГОСТ 22-982-76 на башенные краны рекомендует температуру в кабине; в зимнее время поддерживать 14-20 °С.

Анализируя приведенные данные по нормированию и рекомендациям параметров микроклимата в кабинах мобильных машин можно сделать следующие выводы:

- для различных областей техники нет единой номенклатуры и методики нормирования параметров микроклимата кабин мобильных машин;
- стандарты, технические условия и требования к микроклимату кабин горных машин не учитывают всех основных параметров формирующих микроклимат в кабинах и прежде всего не нормируют температуру внутренних ограждений кабины;
- требования к средствам и системам отопления в основном сводятся к одному: создание в кабинах условий с параметрами микроклимата, указанными в стандартах по видам машин.

## **1.2 Анализ существующих методик расчета систем отопления кабин горных машин.**

Существующие методы теплового расчета кабин горных машин сводятся в основном к расчету теплопроизводительности систем отопления. При этом не учитываются особенности теплообмена оператора с рабочей средой. Расчеты основываются на тепловом балансе теплопотерь кабины и теплопроизводительности системы отопления.

Так, например, НАМИ рекомендует использовать следующую расчетную формулу:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1.2)$$

где  $Q_0$  - количество тепла, получаемой кабиной от отопителя;

$Q_1$   $Q_2$   $Q_3$  – количество тепла, теряемое кабиной через ограждения, с вытесняемым воздухом и через неплотности.

При этом коэффициенты теплообмена от воздуха к стенке внутри и снаружи кабины берутся табличные. Подсчитывается усредненный общий коэффициент теплопередачи  $K$  кабины при установившемся тепловом равновесии и по известным формулам рассчитывается требуемая теплопроизводительность отопителя.

Наиболее распространена методика расчета систем отопления в соответствии со строительными нормами. Здесь в качестве исходных данные для расчета задаются конструкцией стен, их теплоизоляцией, разностью температур внутреннего и наружного воздуха.

Требуемое сопротивление теплопередаче определяют по формуле:

$$R_{TP} = \frac{(t_в - t_н) * n * \epsilon * R_{вн}}{\Delta t} \quad (1.3)$$

где  $n$  – коэффициент, зависящий от расположения ограждений;  
 $B$  – коэффициент, зависящий от типа утепления  
 $\Delta t$  – нормируемый перепад между температурой воздуха в кабине и температурой поверхности внутренних ограждений кабины.

Толщина слоя теплоизоляции стен определяется из условия:

$$R_{\text{тр}} \geq R_{\text{вн}} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\sigma_n}{\lambda_n} + R_{\text{н}} \quad (1.4)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$  – толщина конструкции, м;  
 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м К.

Расчет заканчивается подсчетом теплотерь через все элементы ограждения кабины.

НИИСтройдормашом предложена методика теплового расчета кабин при отоплении их посредством принудительной циркуляции нагретого воздуха. Воздух подается на стекла и в дальнейшем циркулирует по всему объему кабины. В этом случае переходные термические сопротивления от воздуха к внутренней стенке кабин; уточняется с помощью уравнений критериев подобия Рейнольдса, Прандтля, Нуссельта и др. Коэффициент теплообмена «а», как у внутренней, так и у наружной стены определяется из выражения  $\alpha = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}$  ( $\alpha_{\text{л}}, \alpha_{\text{к}}$  – коэффициент теплообмена Вт/м<sup>2</sup>К) Общая производительность определяется из уравнения:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 \quad (1.5)$$

где  $Q_1$  – количество теплоты необходимое для подогрева воздуха поступающего в кабину.

$Q_2$  – количество теплоты необходимое для подогрева воздуха проходящего по системе рециркуляции.

При отоплении кабин греющими панелями в работе рекомендуется методика расчета допустимых температур воздуха, пола, греющих и охлаждающих оператора ограждений. При этом результирующую комфортную температуру  $t_{\text{тр}}$  получают из номограммы. Температуру воздуха  $t_{\text{в}}$  берут из нормативных документов, а среднюю температуру поверхностей  $t_{\text{ср}}^{\text{п}}$  определяют из выражения:

$$t_{\text{вн}}^{\text{ср}} = \frac{\sum f_i \cdot t_i}{\sum f_i} \quad (1.6)$$

где.  $f_i$  – площадь поверхности м<sup>2</sup>;

$t_i$  – температура, 0С.

Анализ 4-х методик показал, что первые три решают с разной степенью точности вопрос теплообмена кабины с окружающей средой с учетом или без

учета особенностей теплообмена внутри кабины, но не рассматривают оператора, как объект обогрева.

В методике приведен расчет панельно-лучистой системы отопления, результирующей температуры в кабине и определены предельные допустимые значения радиационных температур из условий комфортности оператора по методике жилых и промышленных здания без учета ранее указанных особенностей кабин и условие эксплуатации горных машин, различных восприятий тепловых нагрузок элементами человека-оператора: головой, туловищем, ногами. Не учтена в ней интенсивность работы оператора, не обоснована теплоизоляция его одежды.

Наиболее полно вопросы теплообмена кабин мобильных машин освещены в работе, в которой даются практические рекомендации по расчету теплопередачи через различные ограждения кабин. Решены вопросы взаимодействия ограждающих конструкций кабины с окружающей средой в теплый период года. Для расчета отопления кабин предлагаются аналогичные методы, что и для охлаждения. Однако автором недостаточно учтены специфика кабин и условия работы горной машины, не решаются вопросы распределения тепла и воздуха в кабинах, не рассматривается оператор, как обогреваемый объект, не учитывается его интенсивность работы, одежда и радиационно-конвективный теплообмен с ограждениями кабины.

Приведенные в работе формулы расчета характеризуют теплообмен оператора в целом без особенностей радиационного теплообмена его отдельных элементов, головы, ног, туловища.

Эти недостатки работы не позволяют в полной мере использовать ее результаты при разработке системы отопления кабин, для выбора схемы распределения тепла и воздуха от отопителя в кабину, для определения установочной мощности отопительного прибора, для оптимизации термического сопротивления ограждений с учетом большой площади остекления кабин.

Исследование серийных систем отопления кабин горных машин. Системы отопления кабин включают отопительный прибор, средства транспортирования и разводки тепла, устройства управления и регулирования подачи тепловой энергии. Определяющим в системе отопления является отопительный прибор.

### **1.2.1 Системы конвективного отопления.**

На горных машинах нашли применение системы отопления конвективного действия, использующие тепловую энергию двигателя или электрогенератора для нагрева воздуха в кабине. От воздуха путем конвективного теплообмена нагреваются ограждения и внутреннее оборудование кабины.

В таких системах размещение отопительных приборов осуществляется в кабинах серийных машин исходя из наличия свободного места для их



монтажа и обеспечения возможности обдува переднего стекла теплым воздухом. Отопительные приборы, использующие тепловую энергию двигателя, чаще всего соединены трубопроводами с жидкостной системой охлаждения двигателя. Теплопроизводительность таких приборов зависит от температуры и объема прохождения по теплообменнику горячей жидкости, интенсивности обдува теплообменника и от площади его теплоотдающей поверхности. Температура теплоносителя в теплообменнике зависит от теплового режима двигателя, конструктивных особенностей системы прокачивания жидкости по трубопроводам и от гидравлических и тепловых потерь в теплообменнике и в подводящих трубопроводах. Потери тепла в них тем больше, чем дальше удален теплообменник от двигателя.

В системах отопления с электронагревателями источниками питания являются штатные генераторы, дизель-электрические установки или специальные, дополнительно установленные на машине, генераторы. Применяются электрические печи типа ТоН (трубчатые) без ограждений и типа ПоТ с металлическим ограждением, не имеющие принудительного обдува нагревателей. Реже используются для отопления кабин бытовые электронагревательные приборы типа "Луч" с обдувом нагревателей. Электрические отопительные приборы просты в изготовлении, имеют высокий коэффициент полезного действия, компактны, обеспечивают простоту и надежность автоматической регулировки потребляемой мощности. Мощность единичных электрических нагревателей обычно не превышает 1 кВт.

Недостаток компактных электронагревателей-высокая температура нагрева их поверхностей (до 600°C) и, в связи с этим, трудность обеспечения равномерного распределения температур в кабине.

К конвективным системам относятся и системы отопления, нагнетающие теплый воздух в кабину, например, от отопительно-вентиляционных установок автономного действия. Они работают на бензине, 0-15 и 0-30, и на дизельном топливе, ОВ-65 и ОВ-95, эти установки соответственно попарно конструктивно аналогичны и отличаются только габаритными размерами и теплопроизводительностью.

Отопительные установки ОВ-65, ОВ-95 менее пожароопасны, имеют большую теплопроизводительность, но на горных машинах не нашли применения из-за ограниченного объема выпуска и низкого ресурса (2000 м/ч).

Системы отопления с отопительными установками автономного действия обеспечивают требуемый воздухообмен в кабинах, так как производят забор воздуха преимущественно снаружи кабины. Размещаются отопители вне кабины, у задней или боковых стен, или под полом кабины. Конструкции отечественных систем отопления не предусматривают рациональное распределение потоков нагретого воздуха по кабине. Зарубежные фирмы применяют для обогрева кабины оператора системы отопления с отопителями автономного действия или комбинированные системы, включающие дополнительно и радиатор - теплообменник. Широко

применяются воздушные подогреватели - отопители теплопроизводительностью от 5,0 до 17,0 КВт. Например, на кранах фирм "Тадано" и "Като" применяются две системы отопления независимого действия: с отопителем типа "Вебасто" - для отопления кабин шасси и типа "Микуни" - для кабин крановой установки. Одновременно на этих кранах установлен отопительный прибор с подогревом воздуха в теплообменнике, соединенный с системой охлаждения силовой установки.

Наиболее распространенная схема отопления кабин зарубежных машин предусматривает подачу основного потока теплого воздуха на лобовые стекла кабины. Отопительные установки независимого действия чаще применяют как аварийные и резервные для экстремальных условий, а штатными являются отопительные приборы радиаторного типа.

Недостатками зарубежных систем отопления является их сложность, отсутствие эффективного обогрева ног оператора. Их достоинство в унификации систем отопления кабин для различных машин одной фирмы, высокая теплопроизводительность и надежность.

В последнее время получают распространение отопительные приборы беспламенного сжигания топлива в присутствии катализаторов. Но из-за применения в качестве катализаторов дорогостоящих дефицитных материалов они не нашли применения для отопления кабин горных машин. Следует отметить, что ни нагревателей, ни отопительно-вентиляционных установок специально для горных машин не выпускается, применяются те, что разработаны для техники других отраслей. Достоинством системы отопления конвективного действия является быстрый нагрев воздуха в кабине, недостатком - медленное и недостаточное нагревание ограждений кабины оператора, большие градиенты температур, как в плане, так и по высоте кабины.

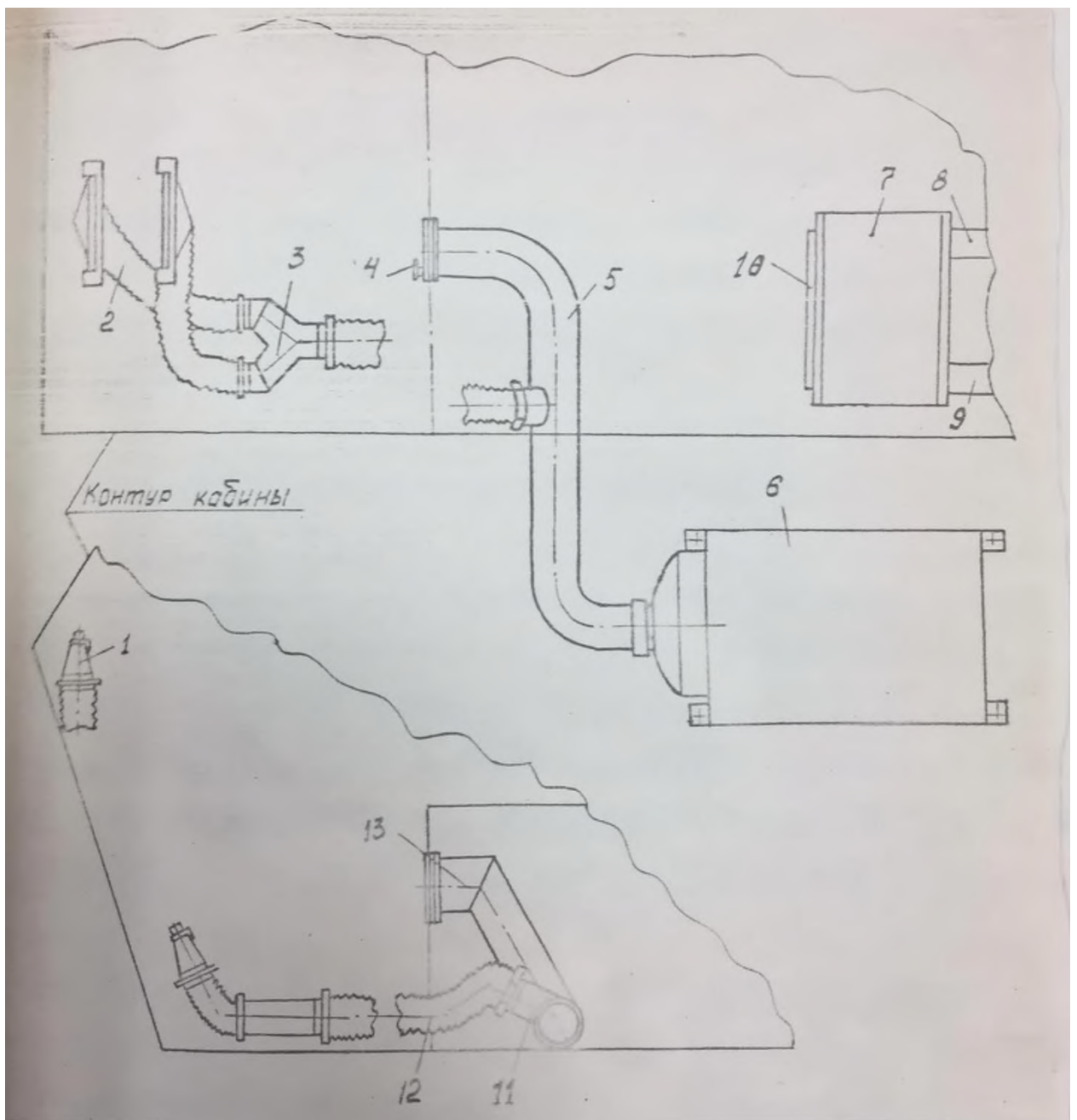


Схема 1.2 системы отопления кабины автомобильного крана фирмы "Тадано" (Япония)

Условные обозначения: 1,2,3,4,5,10,11,12,13 -воздуховоды и распределительные насадки; 6,7 -отопительные приборы зависимого и независимого действия; 8,9 -трубопроводы подвода и отвода жидкого теплоносителя.

### **1.2.2 Панельно-лучистое отопление кабины.**

Панельно-лучистое или радиационное отопление широко применяется для жилых и производственных зданий, открытых веранд, но для отопления кабин долгое время не применялось из-за отсутствия малогабаритных плоских радиационных отопительных приборов. Отопительные приборы с температурой нагрева ниже плюс 80°C, при которых не происходит разложение органической пыли, принято называть низкотемпературными.

Особенностью низкотемпературных радиационных отопительных приборов является наличие значительных площадей нагрева, используемых для направленного обогрева оператора радиационным теплом невысокой температуры.

В настоящее время у таких приборов в качестве теплоносителя используются жидкости, нихромовая спираль, провода и кабели из специальных сплавов, изделия из углеродных волокнистых материалов, нагреваемых электрическим током.

Из распространенных жидкостных бытовых отопительных приборов можно отметить плоский электрический радиатор, заполненный трансформаторным маслом. Радиатор снабжается трубчатым электронагревателем мощностью 500 Вт.

### **1.2.3 Системы нормализации микроклимата кабины круглогодичного действия.**

Зарубежный опыт нормализации микроклимата в кабинах мобильных машин свидетельствует о возможности использования кондиционеров во все периоды года до температуры минус 20°C. Для машин предназначенных для эксплуатации при более низких температурах применяются индивидуальные системы отопления кабин. Это обусловлено отсутствием транспортных кондиционеров с повышенной теплопроизводительностью, нерациональностью распределения тепловых и воздушных потоков по охлаждающим воздуховодам кондиционеров.

Системы кондиционирования воздуха в кабинах широко применяются в отечественной практике, например, на тракторах Харьковского, Кишиневского, Ташкентского и др. заводов, в горячих цехах промышленных предприятий, выполняющие функции охлаждения кабин операторов. И только в последнее время начали серийно внедряться системы кондиционирования воздуха круглогодичного действия, например на тракторах Ташкентского завода. При этом используются кондиционеры испарительного типа в теплый период года, а в холодный энергетическая установка кондиционера нагнетает подогретую выхлопными газами дизеля воду в теплообменник отопителя и подогретый воздух в кабину. Эта система предназначена для создания оптимальных тепловых условий оператору трактора до температуры минус 20°C. Наиболее рациональной признана система охлаждения кабин в теплый период года панелями "ПЛИ" при

размещении их у потолка кабины с дальнейшим распределением охлажденного воздушного потока струями вдоль остекления в ограждений кабины. Распределение теплого воздуха по схеме панелей "ПЛИ" нежелательно из-за дополнительных затрат энергии на нагнетание теплого воздушного потока вниз с противодействием гравитационного напора воздушной струи и возможностью перегрева потолочной панели или превышения подвижности воздуха в рабочей зоне оператора.

В настоящее время созданы и разрабатываются для различных отраслей машиностроения транспортные кондиционеры 4 -х типов: парокompрессионные (КТА-4С1, разработчик АвтоЗАЗ; КТА-059-01 и КТА -С59-02, разработчик НИИКондиционер, КТА-ОЗА-01, разработчик Харьковский турбинный завод им.С.М.Кирова). На машинах, не имеющих в бортовой системе мощного источника электроэнергии, а их большинство, используются парокompрессионные кондиционеры с сальниковым компрессором. Достоинство этих кондиционеров - малый расход энергии и высокий КПД, недостаток - через сальники компрессора наблюдаются утечки хладона.

Кондиционеры с воздушной холодильной машиной более надежны, но имеют низкий КПД и, как следствие, требуют большого расхода энергии от силовых установок машин.

Недостатком термоэлектрических и испарительных кондиционеров является их малая мощность при значительных габаритах. Испарительные кондиционеры, кроме этого, не могут поддерживать в кабинах машин заданные параметры микроклимата в широком диапазоне параметров наружного воздуха.

Методики расчета систем нормализации микроклимата кабин в теплый период года разработаны, научно обоснованы и нашли практическое применение. Анализируя их можно предложить следующую последовательность расчета систем вентиляции и кондиционирования воздуха в теплый период года:

I. Расчетную полезную холодопроизводительность  $Q_X$  системы нормализации микроклимата следует определять по формуле:

$$Q_X = Q_{\text{тли}} + Q_{\text{огр}} + Q_u \quad (1.7)$$

где  $Q_{\text{тли}}$  - теплоступления в кабину от двигателя и трансмиссии, определяемые для каждого вида машины с учетом типа кабины;

$Q_{\text{огр}}$  - теплоступления через наружные ограждения кабины;

$Q_u$  - теплоступления от операторов машины.

Теплоступления через наружные ограждения определяются из выражения:

$$Q_{\text{огр}} = (\beta * k_1 * F_{\text{св}} * q_{\text{св}} + k_2 * F_{\text{каб}})(t_{\text{н}}^{\text{усл}} - t_{\text{в}}) \quad (1.8)$$

где  $\beta$  - коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств;

$k_1$  - коэффициент, учитывающий загрязнение остекления кабины;

$F_{св}$  - площадь световых проемов кабины ;

$q_{св}$  - удельные теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные ограждения кабины, определяемый для каждой расчетной зоны работы горной машины, соответствующие максимальному значению из всех пунктов предполагаемой поставки горной машины в данной климатической зоне;

$k_2$ - коэффициент теплопередачи наружных ограждений, рассчитываемый для каждой конструкции кабин;

$F_{каб}$  -площадь наружных ограждений расчетной кабины;

$t_n^{усл}$  - условная температура наружного воздуха;

$t_b$  - температура воздуха в кабине.

Условная температура наружного воздуха определяется по формуле:

$$t_n^{усл} = t_n + \frac{Q_R [K_3 * F_{св} + K_u (F_{каб} * F_{св})]}{F_{каб} * a_H} \quad (1.9)$$

где  $t_n$  температура наружного воздуха, принимаемая для расчетной зоны работы горной машины;

$Q_R$  - удельный тепловой поток солнечной радиации на вертикальную поверхность, принимаем для расчетной зоны и представительного пункта работы горной машины.

$K_3$  и  $K_u$ - коэффициент поглощения солнечной радиации светопрозрачными и непрозрачными наружными ограждениями кабины.

$a_H$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждений.

Теплопоступления от операторов определяются:

$$Q_u = n * Q_{ui} \quad (1.10)$$

где  $n$  – количество человек в кабине горной машины;

$Q_{ui}$ -теплопоступления от одного человека, определяемые в зависимости от интенсивности его работы

2. Выбор системы нормализации микроклимата определяется по полученному значению суммарных теплопоступлений  $Q_x$  в кабину.

Первоначально рассматривается возможность нормализации микроклимата посредством вентиляции. Для этого определяется максимально допустимое количество приточного воздуха  $G_b^{max}$  из условия обеспечения допустимой скорости движения воздуха в кабине и проверяется выполнение неравенства:

$$G_b^{max} * C_p [t_b^{max} - (t_n + \Delta t_{лок} + \Delta t_{вент})] \geq Q_x \quad (1.11)$$

Где  $C_p$ - теплоемкость воздуха;

$t_b^{max}$  - максимально допустимая из условия комфорта температура воздуха в кабине;

$\Delta t_{лок}$  - величина локального нагрева наружного воздуха в зоне воздухозабора;

$\Delta t_{\text{вент}}$  - величина нагрева воздуха в вентиляторе, определяемая в зависимости от типа вентилятора.

Если неравенство не выполняется, рассматривается возможность нормализации микроклимата с помощью системы испарительного охлаждения воздуха. Для этого необходимо выполнение неравенства:

$$G_{\text{в}}^{\text{max}} * C_p(t_{\text{в}}^{\text{max}} - t_{\text{в}}^{\text{min}}) \geq Q_{\text{x}} \quad (1.12)$$

Где  $t_{\text{в}}^{\text{min}}$  - максимально возможная температура приточного воздуха, определяемая по характеристике испарительного кондиционера с учетом локального нагрева всасываемого воздуха и относительной влажности наружного воздуха для расчетной зоны работы горной машины.

Если это неравенство не выполняется, выбирается система нормализации микроклимата с парокомпрессионным кондиционером или воздушной холодильной машиной. При этом количество приточного воздуха, вырабатываемого кондиционером  $G_{\text{в}}$ , и температура приточного воздуха  $t_{\text{конд}}$  должны удовлетворять соотношению:

$$G_{\text{в}} * C_p(t_{\text{в}} - t_{\text{конд}}) \geq Q_{\text{x}} \quad (1.13)$$

Расчет  $Q_{\text{огр}}$  в части выбора  $q_{\text{св}}$ ;  $q_{\text{в}}$ ;  $t_{\text{n}}$  предлагается проводить для коэффициента обеспеченности по времени 95%.

### **Вывод.**

На основе изложенного методические вопросы расчета и схемы распределения, тепловых и воздушных поток в кабинах систем нормализации микроклимата в теплый период года в данной работе рассматриваются в части возможного их совмещения с системами отопления в холодный период года.

### **1.3 Значения некоторых параметров микроклимата кабин из условий теплового комфорта оператора.**

#### **1.3.1 Влияние теплоизоляции одежды оператора и физической нагрузки на его теплообмен.**

Теплоотдача оператора существенно зависит от теплоизоляции его одежды.

$$R_{\text{ог}} = R_{\text{ог}}' + R_{\text{ен}} - \Delta R_{\text{u}} \quad (1.14)$$

Где  $R_{\text{ог}}'$  - термическое сопротивление непосредственно пакета одежды;  
 $\Delta R_{\text{u}}$  - часть термического сопротивления одежды, характеризующая его снижение вследствие движения воздуха рабочей среды оператора.

Теплопередача через одежду с поверхности тела оператора в условиях теплового комфорта осуществляется конвекцией и излучением:

$$R_{og} = F_u(t_u - t_{cp}) * (Q_k + Q_l)^{-1} \quad (1.15)$$

Откуда:

$$R_{og} = F_u(t_u - t_{cp})(Q_u - Q_u - Q_{p\bar{o}})^{-1} - R_{\text{ел}} + \Delta R_u \quad (1.16)$$

Где  $F_u$ - площадь поверхности тела оператора;

$t_u$ - средняя температура кожи оператора;

$t_{cp}$ - средняя температура рабочей среды т.е это температура среды кабины в которой тело оператора путем радиации и конвекции отдает столько же тепла, сколько и в окружении с одинаковой температурой воздуха и ограждений.

По рекомендации венгерского технического кодекса и отечественных исследований:

$$t_{cp} = (t_{\text{вн}}^{\text{cp}} + t_b)/2 \quad (1.17)$$

Где  $t_{\text{вн}}^{\text{cp}}$ - средняя температура окружающих поверхностей.

Под средней температурой рабочей среды понимается результирующая температура в кабине, состоящая из конвективной  $t_b$  и радиационной  $t_R$  составляющих.

Значение параметров  $Q_u; Q_u; Q_{p\bar{o}}$  для оператора горной машины определены в работе.

Величины  $R_{\text{ел}}; \Delta R_u$  определены физиологами.

Площадь поверхности тела оператора находится по эмпирической формуле Дю-Буа.

$$F_u = 71,84 * W^{0.425} * H * 10^{-4} \quad (1.18)$$

Подставив в уравнение значения  $F_u; t_b; Q_u; Q_p; R_{\text{вп}}; \Delta R_u$  можно определить зависимость средней температуры рабочей среды  $t_{cp}$ , необходимой для поддержания теплового комфорта в кабине, известных, заданных значений термического сопротивления одежды при различной интенсивности труда оператора.

Наилучшей одеждой операторов при выполнении рабочих операций следует считать рабочую спецодежду летнего сезона с фактором теплоизоляции 1 кло, соответствующую термическому сопротивлению 0,15 м<sup>2</sup> град/Вт. Фактор теплоизоляции зимней одежды операторов в зависимости от районов эксплуатации машин составляет 2 + 4 кло. Одежда бедер и ног примерно 2,0 кло. В период перерывов в работе, при отдыхе оператора, для расчетов принимается теплоизоляция одежды в 2,0 кло (0,30 м<sup>2</sup>град/Вт), т.е. соответствующая легкой верхней одежде зимнего сезона накинутой на плечи оператора поверх спецодежды. Одежду бедер оператор в кабине не меняет. Для этих условий построена номограмма (рис1.2).



По ней определяем, что для случая средней нагрузки оператора строительно-дорожных машин требуемая температура рабочей среда будет в пределах ( 10...17 ° С) , а при отдыхе, с учетом дополнительной одежды, (14...18)°С. Меньшие значения соответствуют движению воздуха в кабине со скоростью 0,1 м / сек , большие - 0,5 м/сек. Поэтому вопрос о комфортном или дискомфортном тепловом режиме в кабине сводится в основном к созданию и поддержанию определенных сочетаний температуры внутреннего воздуха и ограждений, обеспечивающих значение в пределах 14 + 17°С.

### **1.3.2.Влияние ассиметричных тепловых воздействия на оператора.**

Диаграмма комфортных сочетаний  $t_v$  и  $t_R$  лежит в основе современного нормирования теплового режима в закрытых кабинах в помещениях. В качестве примера приведена диаграмма комфорта по Гаю .

Физический смысл диаграмм состоит в том, что уменьшение или увеличение одной из составляющих средней температуры рабочей среды должно компенсироваться соответствующим увеличением или уменьшением другой. То есть диаграмма предусматривает только соблюдение теплового баланса. А тепловой баланс можно создать любой системой отопления, при любом размещении нагревателей. Однако с физиологической точки зрения к тепловому комфорту оператора соблюдение теплового баланса есть необходимое условие, но недостаточное, так как существенным еще является и соотношение между конвективной и лучистой составляющими теплоотдачи оператором.

Конвективная и радиационная составляющие температуры рабочей среды не равнозначно воздействуют на организм в целом и на отдельные части тела оператора. Требуется поддерживать их определенное и лучше всего стереотипное соотношение. Как было уже отмечено, нарушение стереотипности теплоотдачи оказывает неблагоприятное воздействие на организм оператора.

Определенные по диаграмме значения средней температуры рабочей среды удовлетворяют требованиям теплового комфорта лишь в том случае, если средняя температура воздуха не более чем на 3 градуса отличается от радиационной температуры кабины.

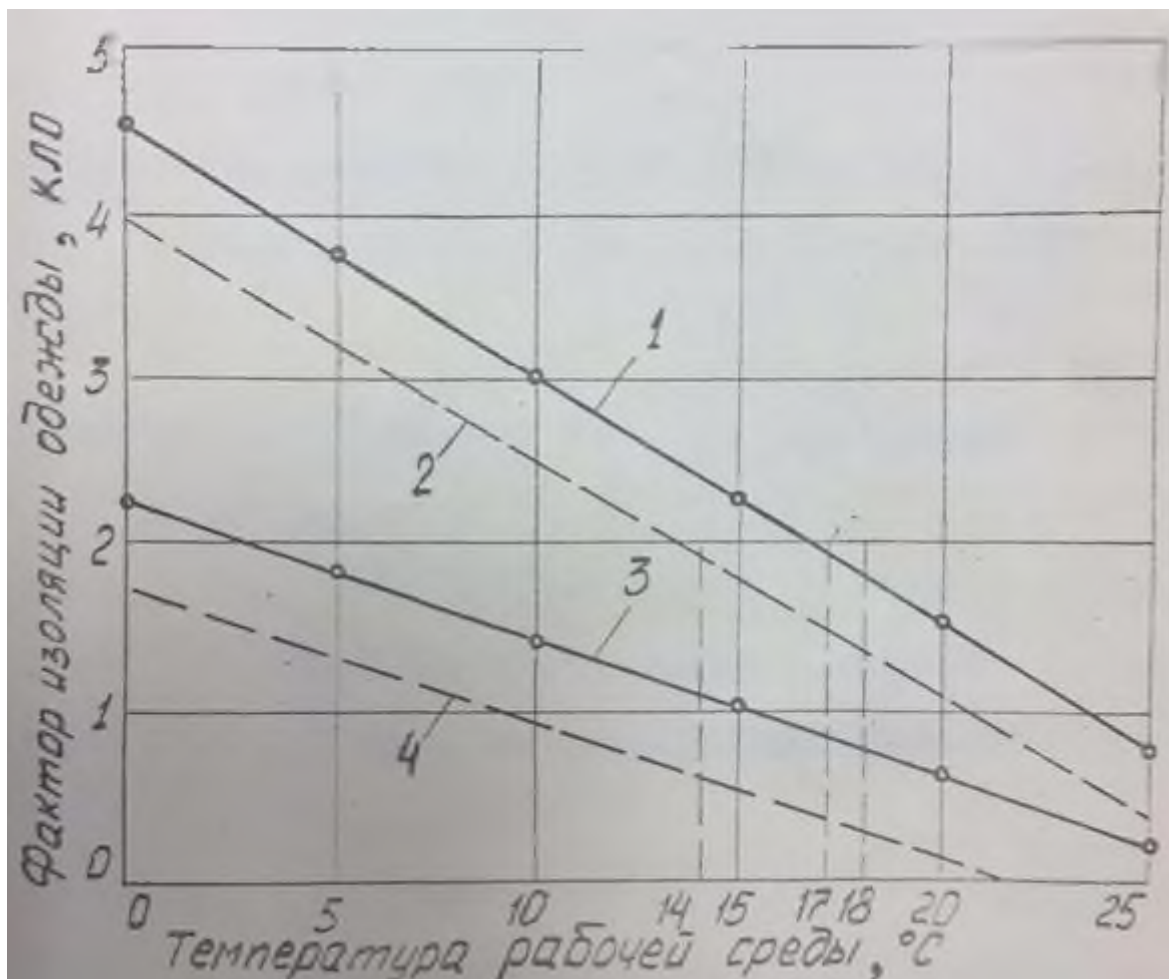


Рис 1.2 Номограмма определения температуры рабочей среды в зависимости от интенсивности труда оператора и теплоизоляция его одежды.

Условные обозначения:

1,2 - состояние покоя, подвижность воздуха - 0,1 и 0,5 м/с; 3,4 - средний режим работы, подвижность - 0,1 и 0,5 м/с

Причем в соответствии с предварительными рекомендациями НИИ гигиены труда снижение температуры воздуха, нормируемой по ГОСТ 12.2.005-76, на  $1 + 3^{\circ}\text{C}$  необходимо компенсировать увеличением  $t_R$  и наоборот.

Но даже и при соблюдении этого условия требуется равномерное распределение температур как ограждений, так и воздуха по кабине.

Организм человека меньше всего приспособлен к борьбе с неравномерным охлаждением участков тела, последствием чего является простудные заболевания.

По общепринятой методике в качестве основы радиационного режима отопления принимается средняя температура ограждений  $t_{\text{вн}}^{cp}$ , определяемая по формуле, взамен радиационной температуры  $t_R$ .

Но эта формула не учитывает физической сути процесса радиационного обогрева человека-оператора в малообъемной кабине. Но не учитываются ни замкнутый объем кабины, ни расположение оператора относительно поверхностей с различной температурой, ни коэффициенты облученности, степени черноты теплообменных поверхностей, величины интегральной интенсивности излучения ограждающих поверхностей. Поэтому  $t_{\text{вн}}^{cp}$  - не может являться критерием оценки радиационного теплообмена человека-оператора в кабине.

Допустимыми перепадами температур воздуха по вертикали и в плане считается  $3,5 + 4,5$  градуса.

Относительно перепадов радиационных температур в кабинах горных машин никаких ограничений, кроме ограничений по технике безопасности и предупреждению ожогов, не имеется. А именно на них следует обратить особое внимание, так как в малообъемных кабинах, имеющих низкую теплоизоляцию и герметичность, радиационная температура в теплообмене человека-оператора играет решающую роль.

Кожа не препятствует проникновению радиационного теплового излучения и при наличии холодных участков ограждений могут поражаться холодом даже глубоко лежащие ткани тела *оператора* с развитием в последующем нефритов, радикулитов и других заболеваний.

В кабинах горных машин, где оператор находится рядом с неоднородными по теплопроводности ограждениями кабины, такие перепады неизбежны.

Используемые в настоящее время системы отопления кабин горных машин могут обеспечить требуемую температуру воздуха в кабине, при активном его перемешивании вентилятором, и поддерживать требуемые допустимые перепады температур в плане и по высоте кабины, но не создают нагрев ограждений до требуемых значений температур и тем более рациональное распределение температуры по их поверхности.

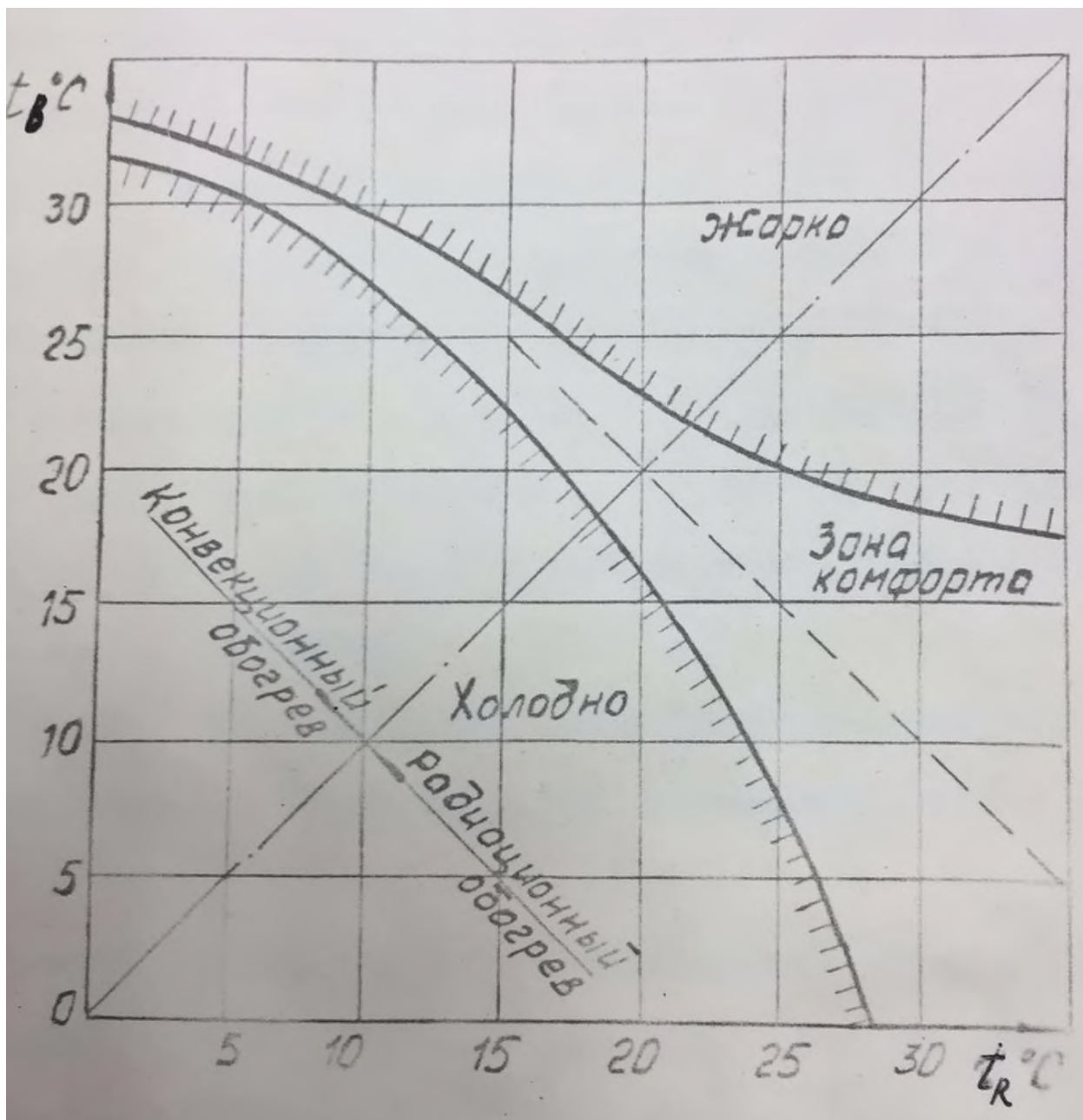


Рис 1.3 Диаграмма комфорта по Гаю

При отоплении кабин конвективными системами температура ограждений зависит от температуры и скорости движения внутреннего и наружного воздуха. К тому же в кабине происходит существенная инфильтрация воздуха через неплотности ограждений, через проемы под рычаги и педали управления, окна и двери кабины.

Примеры распределения значений температур в кабине при конвективной системе отопления, измеренные в условиях эксплуатации для различных серийных кабин горных машин, были показаны. В панельно-лучистых системах отопления нагревательным прибором является часть поверхности ограждения оператора, которая оказывает непосредственное тепловое воздействие на его организм, задает и поддерживает температуру воздуха в кабине. Рациональным сочетанием площадей и температуры, греющих и негреющих поверхностей можно достичь равенства радиационной температуры и воздуха в кабине.

Однако количественные их значения, возможные пределы их сочетаний, на условия сохранения теплового комфорта оператору, для кабин горных машин не определены.

### **1.3.3 Особенности теплового баланса головы, туловища и ног оператора горной машины.**

В соответствии с принятыми оптимальными условиями работы операторов горных машин считаем, что»

- а связи с эксплуатацией горной машины в полевых условиях оператор выходит на работу в одежде для бедер и ног с теплоизоляцией 2 кло, в верхней одежде с теплоизоляцией 2 + 4 кло ;

- в кабине горной машины при установившемся заданном тепловом режиме оператор снимает верхнюю зимнюю одежду: пальто или телогрейку, папку, рукавицы. зимнюю обувь (исключая одежду бедер) и теплоизоляция его одежды соответствует I кло (для бедер примерно 2кло), одевается легкая обувь.

- оператор при работе не имеет головного убора. Кроме этого известно, что голова оператора очень чувствительна к перегреву. Поэтому стандартами для нее нормируется пониженная на  $3 + 5^{\circ}\text{C}$  против ног, температура воздуха и требуется обязательный отрицательный радиационный баланс в пределах комфортной зоны от 11,6 до  $93,0 \text{ Вт/м}^2$ . Температура поверхности головы составит  $32^{\circ}\text{C}$ .

Туловище и бедра человека меньше всего приспособлены к регулированию температуры на их поверхности в зависимости от изменений внешней среды. Поэтому их температуру, отражающую в основном температуру "ядра" человека, следует поддерживать в пределах очень узкой комфортной зоны  $34,5 + 0,5^{\circ}\text{C}$ . Температуру поверхности одежды оператора с теплоизоляцией в 1 кло в условиях теплового комфорта следует принимать  $24^{\circ}\text{C}$ .

Ноги человека очень чувствительны к переохлаждению. Понижение температуры поверхности ног до 10°C может уже повлечь простудные заболевания.

На теплоотдачу ног оказывают большое влияние температура пола кабины и теплоизоляция подошвы обуви, т.е. теплоотдача кондукцией. Верхней границей комфортной зоны для температуры поверхности пола для оператора в легкой обуви исследователи-гигиенисты рекомендуют 30°C, нижней + 15°C. Требований к температуре ограждения, с учетом теплового комфорта оператора, для стен, потолка, остекления кабин горных машин в литературе и нормативных документах не имеется.

### **1.3.4 Наружные климатические условия.**

В холодный период года на тепловой режим кабин операторов горных машин из возмущающих факторов в основном влияют наружная температура и скорость ветра. Для правильного выбора теплозащитных свойств ограждений кабины, мощности системы отопления необходимо обосновать расчетные наружные условия по требуемой обеспеченности заданных внутренних условий в кабинах.

Диапазон значений параметров наружных условий, при которых возможна эффективная эксплуатация горной машины, оговаривается техническим заданием на каждую машину и определяется климатической зоной эксплуатации машин. Как правило, это экстремальные нижние значения средней суточной температуры в наиболее холодный период года с повторяемостью 1 раз в пять лет. Для машиностроительных конструкций значение скорости ветра, как фактора, увеличивающего опасность разрушения от хладоломкости, по сравнению с низкой температурой мало.

Скорость ветра, а следовательно, и коэффициент теплоотдачи от наружных ограждений кабин воздуху можно принять по аналогии и рекомендациям.

Расчетная температура наружного воздуха и коэффициент обеспеченности по времени работы машин обосновываются по статистическим данным климатических условий районов представительной выборки в эксплуатируемой зоне с учетом распределения объемов работ горных машин по территории исследуемого региона на перспективный период по методике. ГОСТом 15150-69 и стандартами СТ СЭВ 458-77, СТ СЭВ 460-77 предусмотрено районирование территории нашей страны преимущественно на две зоны (исключая горные районы): зону умеренного климата "У" и зону холодного климата "ХЛ". Для этих двух зон эксплуатации и выпускаются горные машины. Стандарт устанавливает рабочие и предельные (минимальные и максимальные) значения климатических характеристик, при которых допускается эксплуатация машин различного исполнения (табл.1.3.4)

Результаты работ показывают, что требования ГОСТа 15150-69 по обеспечению работоспособности СДН при предельных рабочих нижних

значениях температур наружного воздуха являются жесткими, недостаточно обоснованными с точки зрения решения конкретных народнохозяйственных задач.

Таблица 1.2 Значения температур воздуха при эксплуатации горных машин.

Исполнение машин	Категории изделий		Значения температур эксплуатации				
			верхние	нижние	средние	верхние	Нижнее
ХЛ	1	1,1	+40	-60	+10	+45	-60
	2	2,1					
	3						
У	1	1,1	+40	-45	+10	+45	-50
	2	2,1					
	3						

Рассчитанные в соответствии с методикой средние значения объемов работ, планируемые к выполнению на перспективны, период на объектах региона с наиболее суровым климатом страны при различных значениях температур наружного воздуха значительны. В наиболее неблагоприятных условиях эксплуатируются машины в Магаданской области и Якутской АССР, в зоне БАМа, Бурятской АССР, Читинской, Иркутской областях, в Красноярском крае, где планируется выполнять при отрицательных температурах до 60-65% объемов работ, при температуре ниже минус 26 °С - до 22- 37% и при температуре ниже минус 46°С – до 2 – 5%.

Обоснование расчетных наружных температур проводилось в следующей последовательности:

- а) Определялись районы представительной выборки с характерными климатическими условиями по зонам эксплуатации "У" и "ХЛ"
- б) Определялись объемы строительно-монтажных работ (СМР), предусмотренные к выполнению на перспективный период на объектах, примыкавших к районам представительной выборки, для которых имеются данные многолетних наблюдений температур наружного воздуха;
- в) По каждому из выбранных пунктов рассчитывалось распределение вероятностей значений минимальных суточных и средних суточных температур наружного воздуха по различным температурным интервалам. При этом значения температур обрабатывались известными методами математической статистики, включающими нахождение эмпирических распределений вероятностей различных температур наружного воздуха, определение выравнивающих выражения, проверку выдвинутых гипотез критериями согласия;
- г) Рассчитывались значения объемов СМР, выполняемых при различных температурах наружного воздуха;
- д) Полученные значения объемов суммировались по отдельным районам, областям, краям и по зонам эксплуатации горных машин;

е) Определялась расчетная температура наружного воздуха для зоны "У" и "ХЛ" при коэффициенте обеспеченности по времени равном 99% для холодного периода года.

Районы представительной выборки для зоны "ХЛ" были приняты гг. Сургут, Дудинка, Якутск, для зоны "У" - гг. Москва, Свердловск, Иркутск, Харьков- Расчетная температура наружного воздуха в холодный период года для зоны "ХЛ" получена минус  $53 + 1,5^{\circ}\text{C}$  для расчета мощности системы отопления и теплоизоляционных свойств кабины, а для зоны "У" - минус  $40 + 1,5^{\circ}\text{C}$ .

Средняя температура отопительного периода для этих зон соответственно - минус  $13 + 1,0^{\circ}\text{C}$  и минус  $8 + 1,0^{\circ}\text{C}$ . Полученные значения расчетных температур отличаются от рекомендуемых и не являются постоянными. При изменении объемов планируемых работ в регионах и требуемого коэффициента обеспеченности расчетные температуры наружного воздуха будут изменяться.

При создании машин целевого назначения для конкретного района эксплуатации расчетную температуру наружного воздуха определяют более точно, рассчитывая по указанной методике.

Анализ климатических условий эксплуатации горных машин в нашей стране показал, что отопительный период кабин горных машин, эксплуатирующихся в зоне "ХЛ", длится в среднем примерно 67% годового времени работы машин, в зоне умеренного климата примерно 50%. Охлаждение кабин горных машин средствами вентиляции в теплый период года возможно для зоны "ХЛ" примерно 30% годового времени работы машин. Кондиционирование воздуха необходимо при наружной температуре выше  $20^{\circ}\text{C}$  и составляет около 3% общего годового времени работы горной машины в этой зоне.

Для зоны "У" усредненные показатели времени вентиляции кондиционирования кабин горных машин имеют значения соответственно примерно 22% и примерно 28%.

Следовательно отопление кабин имеет самостоятельное решающее значение в создании требуемого микроклимата кабин горных машин для основных климатических зон эксплуатации машин в нашей стране, хотя решать его надо в комплексе с системами вентиляции и кондиционирования воздуха.

#### **1.4. Выводы и постановка задачи.**

1. Серийные отечественные системы отопления кабин горных машин не создают теплового комфорта операторам при работе в экстремальных климатических условиях при отрицательных и положительных температурах наружного воздуха вследствие низкой установочной мощности отопительных кондиционеров, герметичности и теплоизоляции кабин, нерационального распределения тепловых и воздушных потоков в кабинах.
2. В нормативных документах требования к микроклимату кабин горных машин изложены не полно, определяют преимущественно допустимые



значения климатических условий, часто в ограниченном диапазоне эксплуатационных температур горных машин

3. Методики расчетов систем отопления и кондиционирования не совершенны, не позволяют оценить радиационный тепловой режим оператора, а следовательно и определить его тепловой обмен с окружающей средой.

Отопительные приборы заимствованы из смежных отраслей машиностроения и для отопления кабин горных машин малоэффективны. Для достижения поставленной в работе цели необходимо:

- Расчет средств и систем нормализации микроклимата кабин машин выполняется с целью обоснованного их выбора техническим параметрам, формирующим оптимальные климатические условия рабочей среды оператора.
- Системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должны оснащаться все кабины машин, предназначенных для эксплуатации на открытом воздухе. Допускается демонтаж отдельных систем в сезонный период их не использования.
- За основу расчета систем нормализации микроклимата взято обеспечение оптимального теплового состояния оператора, с учетом основных параметров микроклимата: температуры, влажности и подвижности воздуха, интенсивности проникающей солнечной радиации, радиационной температуры кабины.
- Определяющими параметрами наружных условий, влияющих на микроклимат в летний период являются температура окружающей среды и интенсивность солнечной радиации, в зимний – температура окружающей среды и скорость ветра.
- На теплообмен оператора в кабине оказывают влияние интенсивность его работы, теплоизоляционные свойства одежды, температура воздуха, радиационная температура кабины, подвижность и влажность воздуха.
- Интенсивность работы оператора определяется по физической работе, затрачиваемой на перемещение рычагов и педалей управления в единицу времени. Операторы машин, в подавляющем большинстве, выполняют работу средней тяжести при затратах энергии 150-200 Вт. В период перерывов и отдыха в работе находятся в состоянии покоя.
- Лучшей одеждой оператора следует считать спецодежду летнего сезона с теплоизоляционными свойствами 1,0-1,5 кло. На период отдыха в холодный и переходные периоды года оператор может одевать дополнительную одежду.
- Ввиду близости размещения ограждений кабины к оператору и учитывая значительную долю теплоотдачи оператора излучением, до 40%, необходимо определение рационального теплового режима кабины. Расчет выполняют из условия создания теплового комфорта оператору при работе.

## **2. Проектирование и расчет систем нормализации микроклимата кабин.**

### **2.1 Обоснование выбора параметров модульной кабины и отопительных приборов.**

В качестве примера рассматриваем модульные кабины У-7890.12 для строительных экскаваторов в исполнении «У» и «ХЛ».

Теплоизоляционные характеристики кабин следующие:

- Все внутренние поверхности ограждений кабины теплоизолированы теплоизоляционным материалом типа пенополиуретан и облицовываются специальным материалом;
- Пол кабин теплоизолируется техническим войлоком;
- Остекление кабин «У» принимается одинарным, кабины «ХЛ» двойным, с герметической прослойкой воздуха между стеклами 5 мм, в виде стеклопакетов.
- Модульные кабины карьерных экскаваторов, разработанные ПО «КРАТЕКС» рис. 2.1 и 2.2 имеют систему отопления из электрических нагревателей обеспечивающих требуемую температуру воздуха в кабине и трубчатых нагревателей для обогрева смотрового остекления кабины, а в летнее время снабжены кондиционером, подающим охлаждающий воздух в кабину. Электронагреватели создают местный перегрев поверхности тела у оператора что приводит к тепловому дискомфорту в зимнее время и большому перепаду температуры, как по высоте кабины, так и ограждающих оператора поверхностей. Тепловые потоки в кабине совершают естественный конвективный кругооборот. При этом совершенно не учитывается радиационный общий фон в кабине оператора и не учитываются требуемые температурные условия для различных частей тела оператора (головы, туловища, бедер и ног). В разрабатываемой системе отопления предлагается устранить отмеченные недостатки.

### **2.2 Расчет системы нормализации микроклимата для теплого времени года.**

Расчетную полезную холодопроизводительность системы нормализации микроклимата (суммарную тепловую нагрузку на кабину) следует определять по известной формуле:

$$Q_X = Q_{\text{дв}} + Q_{\text{огр}} + Q_{\text{ч}} \quad (2.1)$$

Где  $Q_{\text{дв}}$  - теплопоступления от двигателя и трансмиссии, Вт, определяемые по таблице 1 в зависимости от типа и топорзмера;

$Q_{\text{огр}}$  - теплопоступления через наружные ограждения кабины, Вт;

$Q_{\text{ч}}$  - теплопоступления от оператора (помощников), Вт, определяемые по таблице 2 в зависимости от средней температуры воздуха в кабине.

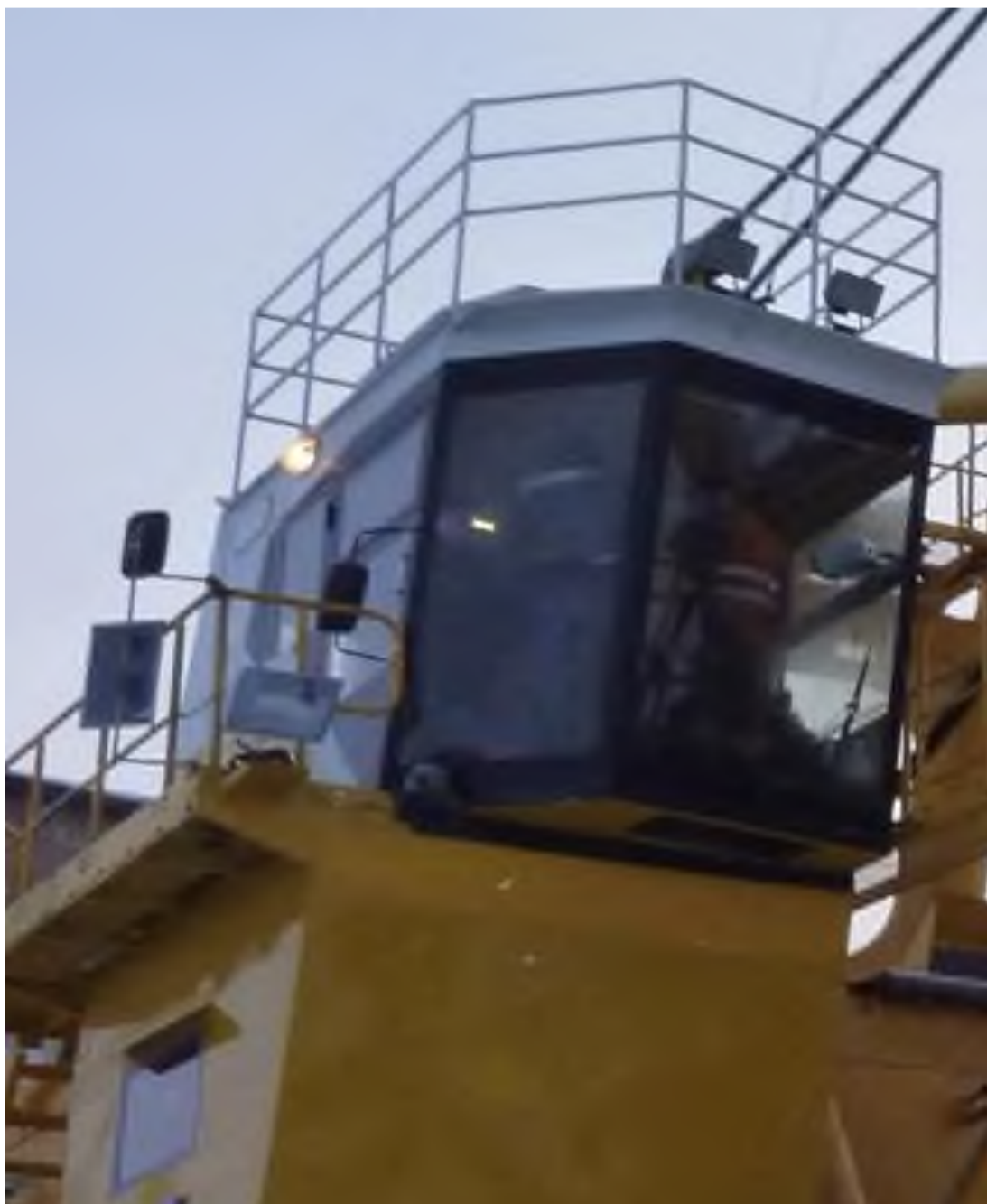


Рис.2.1 Модульная кабина ЭКГ-12К

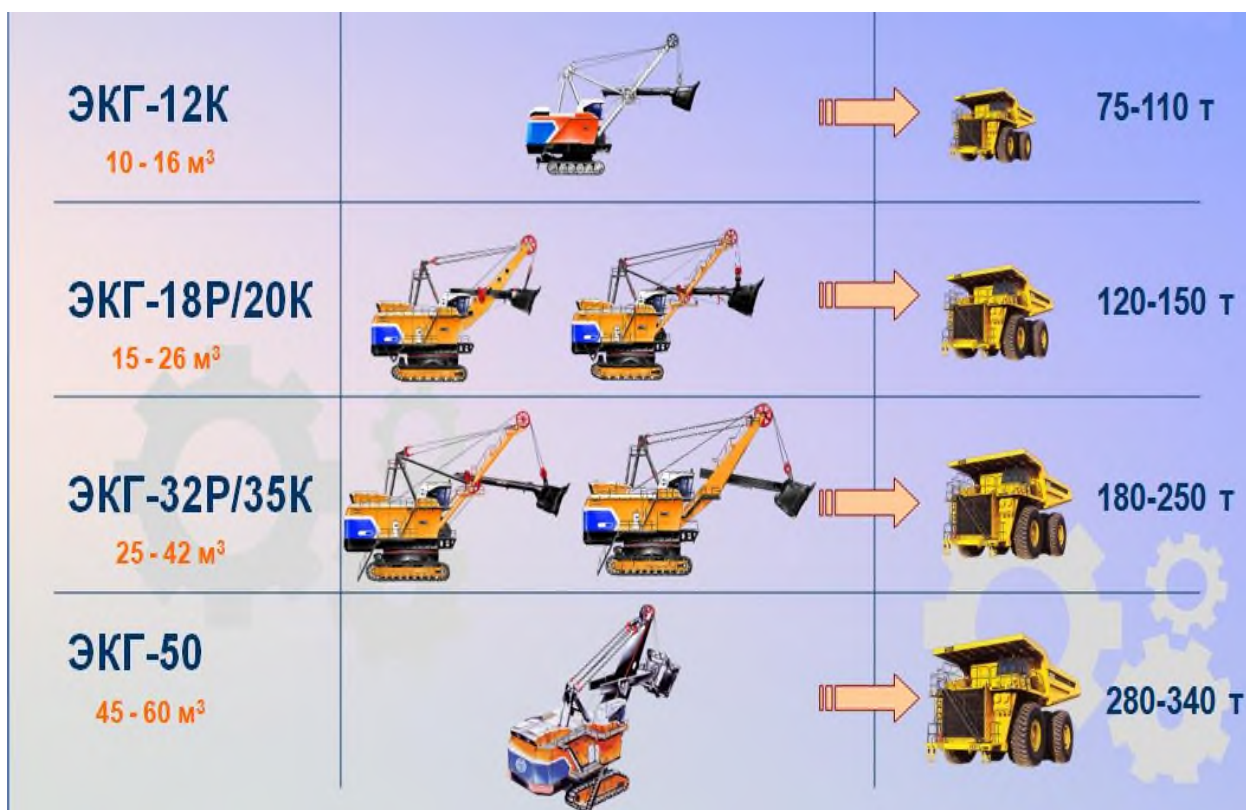


Рис.2.2. Стратегия компании

Таблица 2.1

Тип машины	Усредненные теплопоступления в кабину от двигателя и трансмиссии $Q_{дв}$ , Вт.			Величина локального нагрева наружного воздуха в зоне воздухозабора $\Delta t_{лок}$ , °С		
	Типоразмер машины			Типоразмер машины		
	легкий	средний	тяжелый	легкий	средний	Тяжелый
Экскаваторы с механическим приводом	-	300	400	-	3	3
Экскаваторы с гидравлическим приводом	100	150	200	1	1	1

Таблица 2.2 Теплопоступления от 1 человека  $q_{и}$  в зависимости от интенсивности работы и температуры воздуха в кабине.

Режим работы	Значение параметра $q_{и}$ , Вт			
	Температура воздуха в кабине, °С			
	16	20	24	28
Состояние покоя	дискомфорт	100	84	80
Легкий	140	130	126	125
Средний	182	175	171	170
			дискомфорт	Дискомфорт

Теплопоступления через наружные ограждения кабины следует вычислять по формуле:

$$Q_{огр} = \beta_{сз} * K_{Г} * F_{св} * q_{св} + K_{тп} * F_{\Sigma} * (t_{н}^{числ} - t_{в}) \quad (2.2)$$

где  $\beta_{сз}$  – коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств, принимаемый по приложению 1;

$K_{Г}$  – коэффициент, учитывающий загрязнение остекления световых проемов, принимаемый по табл. 6 приложения 1;

$F_{св}$  – площадь световых проемов кабин, м<sup>2</sup>, принимают из реальной конструкции кабины или из таблицы 3 по типовой кабине данного вида машин;

$q_{св}$  – удельные теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные ограждения кабины в Вт/м<sup>2</sup>, принимают по приложению 1;

$K_{тп}$  – коэффициент теплопередачи наружных ограждений кабины в Вт/м<sup>2</sup>, принимают по таблице 3 для серийных кабин в зависимости от типа машин или рассчитывают по формуле:

$$K_{тп} = a_H + \sum \frac{\lambda_i}{\sigma_i} + a_B \quad (2.3)$$

где  $F_{\Sigma}$  - суммарная площадь наружных ограждений кабин,  $\text{м}^2$ , принимаемая по таблице 3 в зависимости от типа машин;

$t_{\text{в}}$  - температура воздуха в кабине в  $^{\circ}\text{C}$ , определяемая в соответствии с таблицей 5 приложения 1;

$t_{\text{н}}^{\text{числ}}$  - условная температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

Условную температуру окружающего воздуха следует вычислять по формуле:

$$t_{\text{в}}^{\text{числ}} = t_{\text{в}} * \frac{q_{\text{рад}} * [\rho_{\text{св}} * F_{\text{св}} + \rho_{\text{непр}} * (F_{\Sigma} - F_{\text{св}})]}{F_{\Sigma} * a_{\text{н}}} \quad (2.4)$$

где  $t_{\text{в}}$  - температура окружающего воздуха в  $^{\circ}\text{C}$ , принимаемая по таблице 4 приложения 1;

$q_{\text{рад}}$  - интегральная поверхностная плотность потока суммарного солнечного излучения  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , принимаемая по таблице 4 приложения 1;

$\rho_{\text{св}}$  и  $\rho_{\text{непр}}$  - коэффициенты поглощения солнечной радиации светопрозрачными и непрозрачными наружными ограждениями кабины принимаются по таблице 5 приложения 1;

$a_{\text{в}}$  и  $a_{\text{н}}$  - коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностями ограждений  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , принимают по таблицам 5, 6 приложения 1;

$\sigma_i$  - толщина изоляционного слоя.

$\lambda_i$  - теплопроводность изоляционного слоя  $\text{Вт}/\text{м}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 2.3

Тип машины	Площадь светопрозрачных ограждений $\text{м}^2$ .	Коэффициенты теплопередачи наружных ограждений кабины $\text{Вт}/\text{м}^2, ^{\circ}\text{C}$		Площадь непрозрачных ограждений $\text{м}^2$	Суммарная площадь наружных ограждений $\text{м}^2$
		Двойное остекление	Одинарное остекление		
Экскаваторы	3,4	1,54	1,67	6,6	10,0

### 2.2.1 Выбор типа системы нормализации микроклимата.

Первоначально следует рассмотреть возможность нормализации микроклимата посредством вентиляции. Для этого следует определить максимально допустимое количество приточного воздуха  $G_{\text{пр}}^{\text{max}}$ ,  $\text{кг}/\text{с}$ , из условия обеспечения допустимой скорости движения воздуха в рабочей зоне оператора и проверяют выполнение неравенства по формуле:

$$G_{\text{пр}}^{\text{max}} * C_p * [t_{\text{в}}^{\text{max}} - (t_{\text{н}} + \Delta t_{\text{лок}} + \Delta t_{\text{вент}})] \geq Q_{\text{х}} \quad (2.5)$$

где  $C_p$  - теплоемкость воздуха при постоянном давлении, принимают равно  $1000 \text{ Дж}/\text{кг}, ^{\circ}\text{C}$ ;



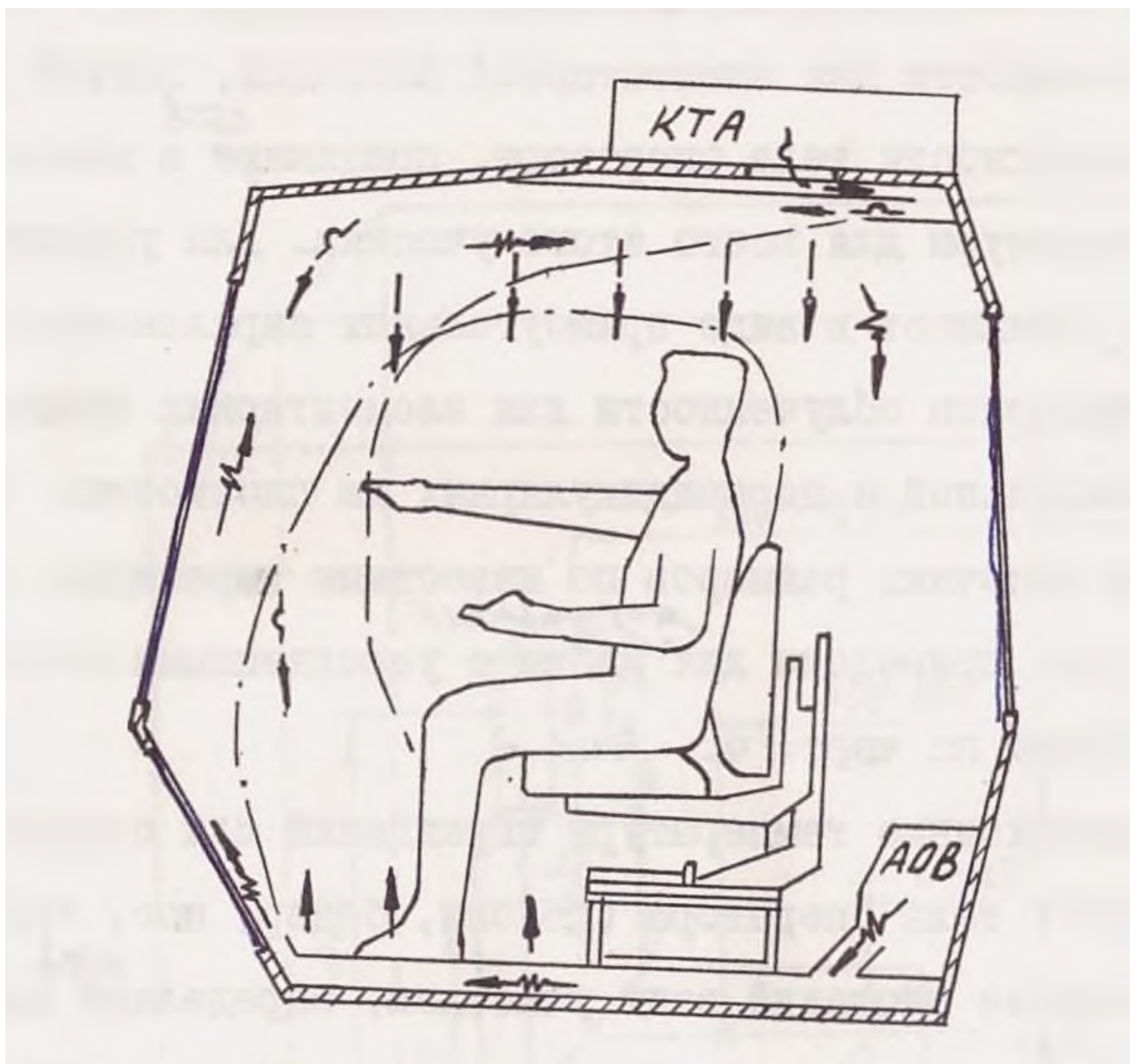
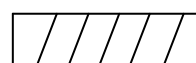
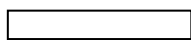


Рис.2.3 Схема движения тепловых и воздушных потоков при радиационно-конвективном отоплении (охлаждении) кабины горной машины.



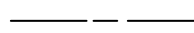
- изолированные ограждения кабины



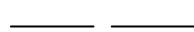
- остекление кабины

КТА - кондиционер автономный транспортный

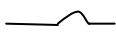
АОВ - отопительно-вентиляционный агрегат



- границная линия настилающейся струи теплого воздуха при отоплении кабины



- границная линия настилающейся струи воздуха при охлаждении кабины



- движение холодного воздуха в теплое время года



- лучистый тепловой поток



- лучистый холодный поток



$t_B^{max}$  - расчетная температура воздуха в кабине, определяемая в соответствии с таблицей 5 приложения 1;

$\Delta t_{лок}$  - величина локального нагрева наружного воздуха в зоне воздухозабора, определяемая по таблице 1 в зависимости от типа и типоразмера машины;

$\Delta t_{вент}$  - величина нагрева воздуха в вентиляторе, определяемая в зависимости от типа вентилятора. В среднем на нагрев воздуха расходуется до 15% мощности вентилятора

При выполнении неравенства (2.5) в качестве системы нормализации микроклимата в теплый период года следует выбрать систему вентиляции кабины.

Если неравенство (2.5) не выполняется, следует рассмотреть возможность нормализации микроклимата посредством системы вентиляции, совмещенной с системой испарительного охлаждения (кондиционером испарительного типа).

Для этого проверяется выполнение неравенства, приведенного в формуле (2.6):

$$G_{пр}^{max} * C_p * (t_B^{max} - t_{B.пр}^{min}) \geq Q_x \quad (2.6)$$

где  $t_{B.пр}^{min}$  - минимально возможная температура приточного воздуха, определяемая по характеристике испарительного кондиционера исходя из значений  $(t_H + \Delta t_{лок})$  и расчетной относительной влажности воздуха для расчетного пункта работы машин.

При выполнении неравенства (2.6) в качестве системы нормализации микроклимата принимается система вентиляции, совмещенная с системой испарительного охлаждения.

Если неравенство (2.6) не выполняется, то в качестве системы нормализации микроклимата следует выбирать систему с парокомпрессионным кондиционером или воздушной холодильной машиной. При этом количество приточного воздуха, вырабатываемого кондиционером в кг/с, и температура приточного воздуха, должны удовлетворять неравенству, приведенному в формуле (2.7):

$$G_{пр}^{max} * C_p * (t_B - t_{пр}) \geq Q_x \quad (2.7)$$

Представленный расчет холодопроизводительности не учитывает направление движения охлажденного воздуха в кабине и может являться дискомфортным при направленности на голову оператора. Оптимальным поступлением считается распределение движения воздуха представленном на рис 2.3 когда охлажденный воздух поступает на наиболее нагретые внутренние поверхности кабины настилающейся струей воздуха.

### **2.3 Расчет нормализации микроклимата для холодного времени года.**

Определяется тип отопительного прибора и основной теплоноситель. Теплоноситель выбирается по имеющейся на машине энергии. На машинах с



электроприводом применяются электронагреватели воздуха или электронагревательные теплообменники.

Рекомендуемая рациональная схема распределения тепла и воздуха в кабине для круглогодичного периода представлены на рис 2.3. Воздух от прибора охлаждения, отопления или вентиляции в кабину следует подавать настилающимися струями вдоль ограждений остекления кабины, обеспечивая оператору оптимальный рациональный тепловой режим.

Рассчитываются требуемые рациональные температуры для всей поверхности оператора, а также для его головы, туловища, бедер и ног.

Рациональная температура в кабине относительно поверхности определяются по формуле (2.8):

$$t_{Ri} = \sum \varphi_{1-j} * t_j \quad (2.8)$$

где  $t_{Ri}$  - температура i-той ограждающей оператора поверхности;

$\varphi_{1-i}$  - коэффициент облученности с поверхности 1 на поверхность j;

$t_j$  - температура j-той поверхности.

Количество тепла, теряемого радиацией элементами поверхности тела оператора, определяются из выражения:

$$Q_{1-2} = C_o * \epsilon_{пр} * b_{1-2} (t_1 - t_2) * \varphi_{1-2} * F_1 \quad (2.9)$$

где  $\epsilon_{пр}$  - приведенный коэффициент излучения, для кабин горных машин составляет 0,90;

$C_o$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела, 5,7 Вт/м<sup>2</sup>;

$b_{1-2}$  - температурный коэффициент:

$$b_{1-2} = 0,81 + 0,01 t_{cp} \quad (2.10)$$

Рациональная температура внутри кабины, определяемая по коэффициенту облученности для элементарной площадки, взятой в центре участка поверхности тела оператора, принимается в качестве радиационной температуры для всего этого участка. Для упрощения фигуру оператора принимают в виде прямоугольных параллелепипедов рис 2.4, а коэффициенты облученности для элементарных площадок определяются в параллельной и перпендикулярных им плоскостях поверхностей кабины конечных размеров по известным выражениям или номограммам, которые приведены для модульных кабин с усредненными геометрическими параметрами.

Вычислив радиационные температуры ограждений для отдельных участков поверхности тела оператора (головы, бедер, ног, туловища) и зная соотношение площадей этих участков, определяется радиационная температура для фронтальной и тыльной поверхностей тела оператора.

Результирующая  $t$  воспринимаемая оператором в кабине определяется по формуле:

$$\frac{t_R + t_K}{2} \quad (2.11)$$

Где  $t_R$  - радиационная температура;

$t_K$  - конвективная температура.

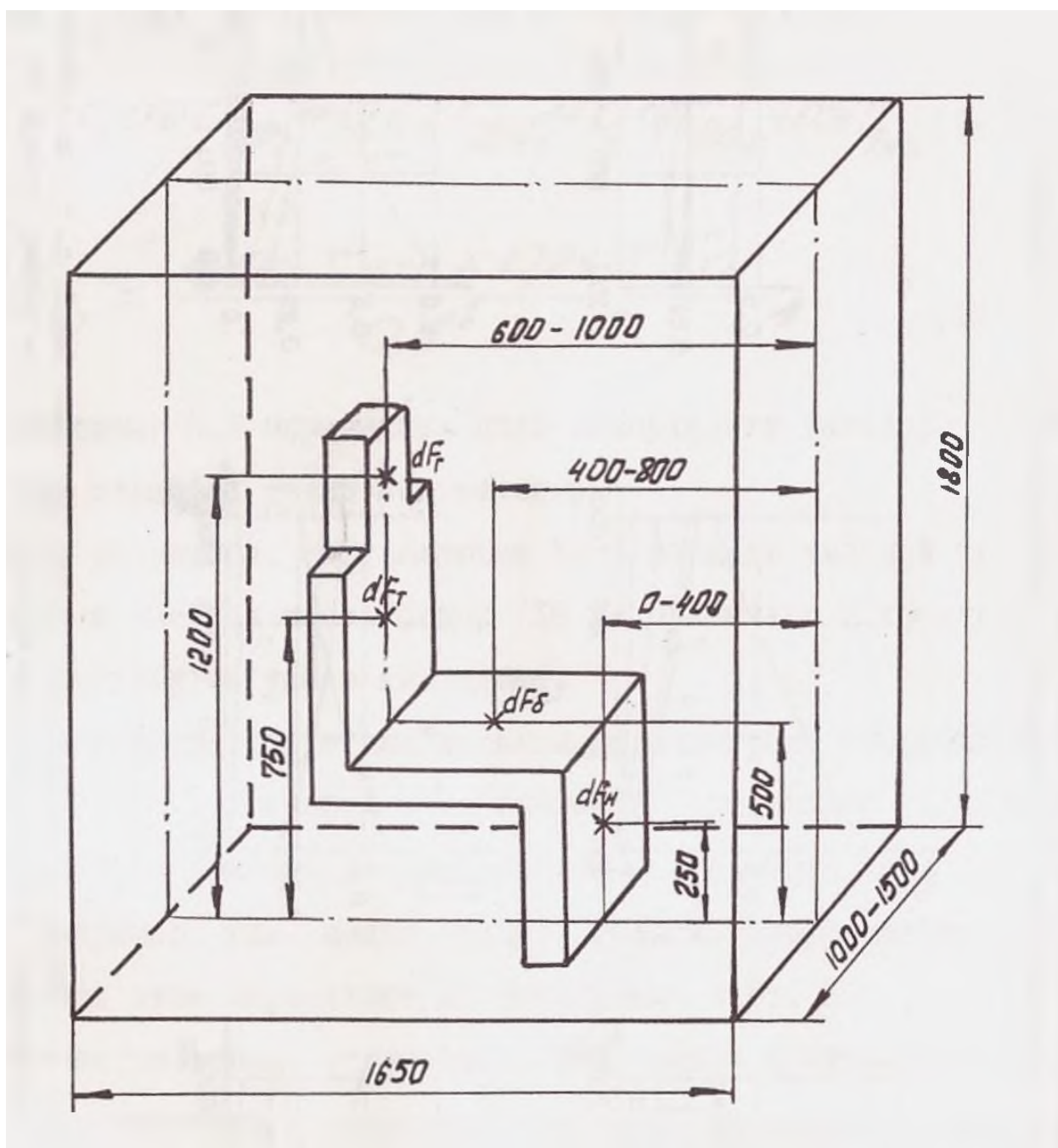


Рис. 2.4 Расчетное положение оператора в кабине горной машины.

### **2.3.1 Выбор рациональной схемы распределения тепла и воздуха в кабинах горных машин**

Наибольший охлаждающий эффект фронтальной части поверхности головы и туловища оператора происходит от переднего лобового остекления. Уменьшить остекление или отодвинуть от него оператора нельзя из условия обеспечения обзорности для большинства горных машин. Однако это же условие требует от системы отопления предотвращения обледенения смотровых стекол, что возможно только при создании положительной температуры на их внутренней поверхности.

Однако возможности повышения температуры остекления ограничены, так как теплопотери при повышении температуры его внутренней поверхности, особенно при одинарном остеклении, резко возрастает. Поэтому обогревать их выше температура точки росы не рекомендуется. Следовательно, повышать радиационную температуру кабины за счет остекления можно в ограниченных пределах.

Конструктивно удобно использовать для улучшения радиационного режима кабины поверхность потолка, меньше других ограждений занятого приборами и оборудованием кабины. Для отопления жилых и общественных зданий потолочное размещение греющих панелей многие авторы считают предпочтительнее. Однако высота кабин строительно-дорожных машин небольшая. А коэффициент облученности головы оператора на потолок кабины для фронтальной и тыльной сторон значителен (при принятой высоте кабины 1800 мм для расчетного случая он составляет до 0,26). Поэтому повышение радиационного теплового режима кабины за счет нагрева поверхности потолка возможно, но малоэффективно из-за отрицательного его воздействия на голову оператора. Допускаемая температура потолка с учетом отрицательного радиационного баланса головы и высоты кабины горной машины не может превышать 26°C. При испытаниях опытного образца экскаватора ЭО-4124ХЛ с потолочным электротэновым экранированным отоплением получены отрицательные результаты.

По этим же причинам нецелесообразно делать греющими поверхности верхней части стен кабины, расположенные на уровне и выше уровня головы сидящего оператора.

Следовательно, из условий теплового комфорта оператора, обеспечение оптимального радиационного теплового режима в отапливаемых кабинах горных машин целесообразно только путем повышения температуры пола и нижней части стен кабины выше температуры воздуха в кабине. При этом допускается поддерживать, в пределах комфортной зоны, радиационную температуру для ног оператора 16+ 26°C, оптимальную, соответствующую стереотипному теплообмену радиационную температуру для основной поверхности человека - туловища (18

+ 22°C) и пониженную - для головы оператора. С учетом рекомендуемых значений теплотеря радиацией  $q_r = 11,6 - 93,0 \text{ Вт/м}^2$  для головы радиационная температура не должна быть ниже 14 и выше 28°C.

Граничные значения средней радиационной температуры для головы (в пределах комфортной зоны) получены их выражения:

$$q_r = \epsilon_{\text{пр}} * C_o * [T_r^4 - T_{\text{РГ}}^4] \quad (2.12)$$

Откуда:

$$t_{\text{РГ}} = \sqrt[4]{T_r^4 - \frac{q_r}{C_o \epsilon_{\text{пр}}}} - 273 \quad (2.13)$$

где  $\epsilon_{\text{пр}}$  - приведенный относительный коэффициент излучения;

$C_o$  - коэффициент излучения отопления;

$T_r$  - температура головы;

$q_r$  - тепловой поток головы.

Повышение внутренней температуры поверхностей кабины высокотемпературными нагревателями типа ТЭН, ПЭТ, радиаторами, размещенными внутри кабины, будет неэффективно, так как они производят лишь местный нагрев стен. Такой нагрев стен отрицательно скажется на тепловом состоянии оператора, так как сами нагреватели, воздействуя излучением на оператора, будут способствовать неравномерности его лучистой составляющей теплоотдачи. Кроме этого такие нагреватели, размещенные внутри кабины, загромождают рабочее пространство, мешают оптимальному размещению средств управления в кабине горной машины.

По атому нагрев поверхностей кабины должен быть выполнен либо воздушным тепловым потоком внутри ограждения и настилающимися по поверхности струями, либо применением греющего облицовочного материала для кабин, например, "Слотерм".

На рис.2.3 приведена рациональная схема тепловоздухораспределения в кабинах горных машин, отапливаемых теплым воздухом, с греющим полом или греющей опорной площадкой для ног и лобового остекления. Схема определяет радиационно-конвективный обогрев оператора. При этом показана возможность создания круглогодовой системы нормализации микроклимата кабин горных машин. Автономный кондиционер размещается над крышей кабины.

В летнем режиме кондиционер нагнетает охлажденный воздух по каналам панели типа «ПЛИ» настилающейся струей на лобовое остекление.

Определяющим является радиационный режим головы оператора.

Средняя радиационная температура оператора составит при системе отопления с греющим полом и повышенной температурой лобового остекления, это значение температуры находится в зоне комфортной.

Расчетные теплотеря оператора радиацией в кабине, отапливаемой по указанной схеме тепловоздухораспределения, приведены в табл.2.3 общие

теплопотери оператора при условии сохранения стереотипности его теплообмена ( излучением 40% ) составят 132 и 170 Вт, что соответствует легкому и среднему режиму его работы.

Таблица 2.3 Теплопотери оператора радиацией, Вт.

Система отопления	Участки поверхности тела человека				
	голова	туловище	бедра	ноги	Вся поверхность тела оператора
С греющим потом и лобовым остеклением	14	34	13	7	67

### 2.3.2 Расчет теплоотдачи отопительных приборов.

Для отопления кабин горных машин возможно применение в основном трех видов отопительных приборов. Их можно классифицировать по преобладающему способу теплоотдачи, как конвективные, лучисто-конвективные и лучистые.

Для определения нагрузки на систему отопления важно знать распределение тепловой энергии от отопительных приборов в объеме кабины.

В общем случае теплота от приборов отдается теплопроводностью, лучеиспусканием и конвекцией:

$$q_o = q_{tm} + q_l + q_k \quad (2.14)$$

где  $q_{tm}$  - трансмиссионный тепловой поток;

$q_l$  - лучистый тепловой поток;

$q_k$  - конвективный тепловой поток.

Выразим доли каждого способа теплоотдачи через параметры:

$$n = q_{tm}/q_o \quad (2.15)$$

$$m = q_l/q_o \quad (2.16)$$

$$p = q_k/q_o \quad (2.17)$$

Очевидно, что  $m+n+p=1$  .

Для конвективных приборов без существенной погрешности можно принять :  $p=1$ ;  $n=m=0$ .

Более сложную задачу требуется решить для второго и третьего типов приборов.

Рассмотрим лучистые приборы, представляющие собой греющую поверхность установленную с воздушной прослойкой на наружном ограждении кабины горной машины.

Теплоотдача такого прибора описывается большим числом зависимостей.

Конвекция на лицевой и тыльной поверхности панели:

$$q_k = a_k(t_n - t_B) \quad (2.18)$$

$$q_k' = a_k'(t_n - t_B') \quad (2.19)$$

Лучеиспускание с лицевой и тыльной поверхностей панелей:

$$q_n = a_n(t_n - t_{BH}) \quad (2.20)$$

$$q_n = a_n'(t_n - t_{BH}') \quad (2.21)$$

где  $a_k$  - конвективный коэффициент теплообмена

$a_n$  - коэффициент теплообмена панели;

$a_n'$  - лучистый коэффициент теплообмена;

$t_n$  - температура панели, поверхности;

$t_B$  - температура внутреннего воздуха.

Под действием гравитационных сил в прослойке возникает движение воздуха со скоростью:

$$U = 0.15l^{0.5}(t_B' - t_B)^{0.5} \quad (2.22)$$

где  $l$  – характерный геометрический размер.

Количество теплоты, ассимилированное этим воздухом:

$$q_B = C_p * \rho * U * F_0(t_B'' - t_B) \quad (2.23)$$

где  $C_p$  - теплоемкость;

$\rho$  - плотность;

$U$  - скорость движения воздуха;

$F_0$  - площадь поверхности;

$t_B$  - температура внутреннего воздуха.

Количество теплоты переданной трансмиссией через наружное ограждение:

$$q_{TM} = k(t_{BH}' - t_H) \quad (2.24)$$

где  $k$  – неполный коэффициент теплопередачи.

Соотношения между записанными тепловыми потоками определяются следующими уравнениями:

$$q_o = q_l + q_l' + q_k + q_k' \quad (2.25)$$

$$q_{tm} = q_k' + q_l' + q_v \quad (2.26)$$

где  $q_l$  - лучистый тепловой поток;  
 $q_k$  - конвективный тепловой поток.

Коэффициенты конвективного теплообмена на поверхности панели определяются по данным при ламинарном режиме течения:

$$N_{ux} = 0358 * G_r^{0.85} \quad (2.27)$$

При турбулентном режиме течения:

$$N_{ux} = 0135 * (G_r * p_r)^{0.33} \quad (2.28)$$

где  $G_r$  - массовый расход воздуха;  
 $p_r$  - плотность.

Зона турбулентного течения возникает при условии:

$$G_r * P_r > 2 \cdot 10^7 \quad (2.28)$$

Распределение температуры воздуха в воздушной прослойке носит экспоненциальный характер.

$$\frac{t_b' - t_b''}{t_b'' - t_b} = \frac{1 - e^{-Al}}{A * l} \quad (2.29)$$

Где:  $A$  - параметр определяемый коэффициентами теплопередачи ограждений прослойке.

Доля лучистой теплоты выделяемой панелью в кабину определяется параметром  $m$  и расположением панели в кабине.

Температура поверхности панели может быть определена по приближенной формуле:

$$t_n = t_{лом} + B_1 * q_o \quad (2.30)$$

Где:  $t_{лом} = \frac{t_b + t_R}{2}$  - комфортная температура помещения кабины горной машины;

$B$  - толщина воздушной прослойки.

Аналогично была численно решена задача расчета лучисто-конвективного отопительного прибора с подачей нагретого воздуха в вентилируемую прослойку.

Доля тепла теряемого трансмиссией определяется для тех же условий, что и в предыдущем случае. В дополнение к неполному коэффициенту теплопередаче и наружной температуре воздуха, определяющим параметром

будет являться скорость течения воздуха в прослойке, ориентация панели в кабине для данного случая потеряла свою значимость.

Основная доля теплоты при вентилируемой прослойке будет поступать с нагретым воздухом - конвекцией. Причем, ее величина будет определяться скоростью течения воздуха и параметром  $n$

### 2.3.3 Радиационная температура в кабине

Радиационная температура для оператора определяется по формуле:

$$t_R = \frac{t_{R\Phi} + t_{RT}}{2} \quad (2.31)$$

где  $t_{R\Phi}$  и  $t_{RT}$  - радиационная температура соответственно для фронтальной и тыльной поверхностей оператора.

Соотношение площадей отдельных участков поверхности тела оператора головы, бедер, ног, туловища, определяется по формулам (2.32; 2.33; 2.34; 2.35)

$$F_{\Gamma} = 0,09 * F_u \quad (2.32)$$

$$F_{\phi} = 0,18 * F_u \quad (2.33)$$

$$F_{\text{H}} = 0,21 * F_u \quad (2.34)$$

$$F_{\text{T}} = 0,52 * F_u \quad (2.35)$$

где  $F_u$  - площадь излучающей поверхности человека.

Рациональные температуры фронтальной и тыльной части оператора  $t_{R\Phi}$  и  $t_{RT}$  определяются по формулам (2.36; 2.37):

$$t_{R\Phi} = 0,09t_{R\Phi\Gamma} + 0,52t_{R\Phi\text{T}} + 0,18t_{R\Phi\phi} + 0,21t_{R\Phi\text{H}} \quad (2.36)$$

$$t_{RT} = \frac{0,09*t_{RT\Gamma} + 0,21*t_{RT\text{H}}}{0,3} \quad (2.37)$$

где коэффициент 0,3 определяет долю поверхности тыльной части оператора, отдающей тепло излучением.

Спина оператора, составляющая 52% площади тыльной части оператора, и тыльная часть бедер 18% примыкают к креслу оператора и излучением тепла не отдают.

Количество тепла, отдаваемое излучением фронтальной поверхностью тела оператора, равно сумме тепла, отдаваемого фронтальной частью головы, бедер, туловища, ног определяется по формуле (2.38):

$$Q_{\text{и}\Phi} = \varepsilon_{\text{пр}} * C_o * [F_{\Gamma\Phi} * b_{\Gamma\Phi} * (t_{\Gamma\Phi} - t_{R\Gamma\Phi}) + F_{\text{T}\Phi} * b_{\text{T}\Phi} * (t_{\text{T}\Phi} - t_{R\text{T}\Phi}) + F_{\delta\Phi} * b_{\delta\Phi} * (t_{\delta\Phi} - t_{R\delta\Phi}) + F_{\text{H}\Phi} * b_{48\Phi} * (t_{\text{H}\Phi} - t_{R\text{H}\Phi})] \quad (2.38)$$

где  $t_{\Gamma\Phi}$ ,  $t_{\text{T}\Phi}$ ,  $t_{\delta\Phi}$ ,  $t_{48\Phi}$  - температура фронтальной поверхности головы, туловища, бедер, ног.

Температура поверхности открытых участков тела человека, в данном случае головы, составляет 32<sup>0</sup>С, закрытых одеждой составляет 24<sup>0</sup>С.



Радиационные теплотери тыльной части тела оператора слагаются только из теплотер тыльной части ног и головы, а общие теплотери оператора излучением равны сумме теплотер фронтальной и тыльной частей поверхностей его тела.

$$Q_u = Q_{uф} + Q_{UT} \quad (2.39)$$

Греющие поверхности отопительных приборов и поверхности воздухопроводов отопительной системы размещаются внутри кабины. Допустимую температуру этих поверхностей следует определять из условия теплового комфорта лучистого теплообмена оператора из формулы (38):

$$t_H = \frac{\frac{Q_u}{C}(\varphi_{uпл} * b_{uпл}(t_u - t_{пл}) + \varphi_{uост}(t_u - t_{ост}) + b_{u-вн}(1 - \varphi_{u-л} - \varphi_{u-ост})*(t_u - t_{вн}) + t_u}{\varphi_{u-n} * b_{u-n}} \quad (2.40)$$

где  $\varphi_{uпл}$ ,  $\varphi_{u-л}$ ,  $\varphi_{u-ост}$  - коэффициенты облученности, соответственно с греющими поверхностями, полом, остеклением;

$t_{вн}$  - температура негреющих ограждений кабины без пола и ограждений.

При этом для зимнего периода в расчетах необходимо принимать минимально возможное тепловое излучение для головы оператора, равное  $11,6 \text{ Вт/м}^2$ , а для теплого периода максимально возможное  $93,0 \text{ Вт/м}^2$ , с сохранением оператору теплового комфорта.

### 2.3.4 Расчет теплового баланса кабины с окружающей средой.

Теплопроизводительность системы отопления для установившегося теплового режима кабины определяется из уравнения теплового баланса кабины по формуле (2.41):

$$Q_O = \sum_1^n C_p * G_i * (t_{в} - t_H) + \sum_1^n k_i * F_i * (t_{внi} - t_H) - Q_{вн} \quad (2.41)$$

где  $C_p$  - удельная теплоемкость воздуха, ккал/кг;

$G_i$ - количество инфильтрующегося из кабины воздуха, кг;

$k_i$ - неполный коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности i-го ограждения кабины;

$F_i$ - площадь i-го ограждения кабины;

$Q_{вн}$  - суммарные внутренние тепловыделения в кабине (от оператора, от пультов управления, от трансмиссии машины и др.) Вт;

$t_{в}$ - температура воздуха в кабине;

$t_H$  - температура окружающего воздуха;

$t_{внi}$  - температура внутренней поверхности i-го ограждения кабины.

Количество инфильтрующегося из кабины воздуха принимают равным требуемому объему воздухообмена в кабине, не менее  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Неполный коэффициент теплопередачи определяют по формуле (2.42):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_H} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (2.42)$$

где  $\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности изоляционного слоя  $i$ -го ограждения кабины;

$\delta_i$  - толщина  $i$ -го ограждения кабины;

$a_H$  - коэффициент теплоотдачи от наружной стенки кабины окружающему воздуху. Его величина зависит от наружных условий (температуры, скорости ветра, влажности). Для расчета принимаются значения, близкие к экстремальным, 23 Вт/м<sup>2</sup>.

Температура внутренней поверхности ограждений определяется по формуле (2.43):

$$t_{BH} = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_o} * R_B \quad (2.43)$$

где  $R_B$  - сопротивление теплопередаче от воздуха к внутренней стенке.

$R_o$  - общее сопротивление теплопередаче ограждения, определяется по формуле (2.44):

$$R_o = R_B + \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_H \quad (2.44)$$

где  $R_H$  - сопротивление теплоотдачи от наружной стенки кабины окружающему воздуху, принимаем равным  $\frac{1}{23}$  м<sup>2</sup>·°К/Вт.

Наиболее сложным является определение сопротивления теплопередаче на внутренней поверхности ограждения по формуле (2.45):

$$R_B = \frac{1}{a_B} = \frac{1}{a_{BЛ} + a_{BК}} \quad (2.45)$$

где  $a_{BЛ}$ ,  $a_{BК}$  - коэффициенты лучистого и конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждения.

На основе результатов расчетов  $a_{BЛ}$  для кабин принимаются равным 5,0 Вт/м<sup>2</sup>·град.

Коэффициент конвективного теплообмена зависит от условий теплообмена и определяется по числу Нуссельта:

$$a_{BК} = \frac{N_{ux} * \lambda}{e} \quad (2.46)$$

где  $e$  – определяющий размер по направлению движения потока.

При ламинарном режиме течения потока воздуха у ограждения:

$$N_{ux} = 0358 * G_r^{0.25} \quad (2.47)$$

При турбулентном режиме течения:

$$N_{ux} = 0135 * (G_r * p_r)^{0.33} \quad (2.48)$$

Где  $G_r$  - число Грасгофа, равное  $\frac{\beta * q * l^3 * \Delta t}{\nu^2}$ ;

$p_r$  - число Прандтля, при 20°С равное 0,709;

$\beta$  - коэффициент температурного расширения воздуха;  
 $\Delta t$  - разность между температурами поверхности и воздуха в помещении;  
 $q$  – ускорение силы тяжести,  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;  
 $V^2$  - коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $20^\circ\text{C}$  равно  $15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Определив требуемую теплопроизводительность системы отопления для установившегося теплового режима кабины, определяется установочная мощность отопления, исходя из требуемого времени подготовки машины к работе т.е времени форсированного режима прогрева кабины до достижения комфортных значений параметров теплового режима кабины.

Коэффициент запаса мощности отопления определяется из выражения:

$$A = \frac{1}{1 - e^{-p\tilde{t}}} \quad (2.49)$$

где  $\tilde{t}$  - требуемое время подогрева кабины, ч.

$$p = \frac{\sum(a_{Hi} \cdot F_i + k_j \cdot F_j)}{M} \quad (2.50)$$

где  $p$  – коэффициент, зависящий от массивности кабины и ее оборудования и от ее теплоизоляционных свойств;

$a_{Hi}$ - коэффициент теплоотдачи тонких, теплопроводных однослойных ограждений кабин наружному воздуху, принимается равным  $23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ;

$F_i$  - площади теплопроводных однослойных ограждений ;

$k_j$ - неполный коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности изолированных ограждений наружу;

$F_j$ - площади изолированных многослойных ограждений кабины.

### 3. Экономическая часть

#### 3.1 Сетевая модель выполнения работы

Работа выполнялась с использованием сетевой модели это позволило рационально распределить время по видам работ и выполнить дипломную работу с установленным учебным графиком срок.

В основе сетевого планирования и управления (СПУ) лежит сетевая модель - графическое изображение плана, которое получило название сетевого графика.

Целью применения СПУ является разработка оптимального или достаточно близкого к нему варианта выполнения работ, обеспечивающего рациональную увязку во времени и пространстве выполняемых работ, наилучшее использование ресурсов, а также эффективное управление процессом реализации этого плана.

Элементами сетевого графика, построенного в форме работа-стрелка, являются работа, событие, путь.

Работа (операция) - основной элемент сетевого графика. Различаются действительная работа, работа-ожидание и фиктивная работа.

Действительная работа - это трудовой процесс, в котором участвуют люди, машины, потребляются материально - технические и денежные ресурсы (устройство перемычек, изготовление макета, монтаж металлоконструкций и т.д.). Она изображается в виде сплошной стрелки; над стрелкой пишется наименование (содержание) работы, а под стрелкой - продолжительность выполнения работы в выбранных единицах времени. Выбор единицы измерения продолжительности работы зависит от уровня руководства, которому предназначен сетевой график. Так, в проекте организации строительства в качестве единицы принимаются месяц или квартал, в проектах производства работ - дни, недели, месяцы; при планировании работы комплексных бригад - смены, часы. Продолжительности выполнения всех работ в одном сетевом графике должны быть определены в одних единицах. Предполагается, что время течет в направлении, указанном стрелкой: хвост стрелки - начало, а острие - окончание работы.

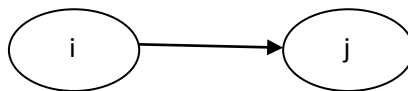


Рис.3.1 Первое правило построения сетевого графика.

Работа-стрелка соединяет два события: i-предшествующее и j-последующее. Пара номеров событий образуют код (шифр) работы. Первым читается номер события, стоящего в хвосте стрелки, и вторым - у острия. Как уже отмечалось, расчеты сетевых графиков, и решение различных задач на

их основе выполняются на ЭВМ, при этом машина различает работы только по их коду. Продолжительность работы обозначается  $t_{ij}$ .

Ожидание - работа, для выполнения которой требуется только время, ресурсы при этом не тратятся (твердение бетона, наполнение водохранилища). Работа – ожидание изображается так же, как и действительная работа.

Фиктивная работа - вспомогательный элемент сетевого графика, позволяющий сделать график более удобным для восприятия, правильно указать организационные и технологические связи между работами. Фиктивная работа не потребляет ресурсов и продолжительность ее равна нулю. Обозначается она пунктирной стрелкой.

Событие - есть факт окончания одной работы и начала другой. Событие обычно изображается кружком, в котором указан номер.

Событие не связано с потреблением ресурсов и продолжительность его равна нулю. Считается, что работа выходит из одного события и входит в другое.

Различают начальные и конечные события. Конечное событие иногда называют целью. По числу конечных событий различают одно- и многоцелевые сетевые графики.

Путь - это последовательность работ в сетевом графике, при которой окончание предшествующей работы совпадает с началом последующей.

Для работы или события существует предшествующий путь, ведущий из начального события к данному или из начального события к событию, предшествующему данной работе.

Аналогично для работы и события существуют последующие пути, связывающие данное событие с конечным или событие, последующее за данной работой, с конечным.

Полный путь связывает начальное событие с конечным. Самый длинный полный путь называется критическим.

Сетевой график в форме работа - стрелка получил наибольшее распространение, так как содержит текстовую информацию (наименования работ, указанных над стрелками) и облегчает восприятие графика человеком.

Для обработки на ЭВМ график должен быть представлен в форме, «понятной» для машины. Наиболее распространенной является так называемая списочная форма задания сетевого графика.

Каждая строка таблицы содержит информацию об одной работе графика. Число строк равно числу работ в сетевом графике (для сети в форме работа-стрелка включаются и фиктивные работы). В первой колонке записаны начальные числа кодов работ  $I$ , во второй - конечные числа этих кодов  $j$ , в третьей колонке - продолжительность выполнения этих работ  $t_{ij}$ .

Число столбцов может быть большим: например, в дополнительном столбце можно указать число рабочей силы, занятой на выполнении работы, количество материально-технических ресурсов, потребляемых на работе, и т.д.

Все события (вершины) в сетевом графике в форме работа-стрелка должны быть пронумерованы. Предпочтительной является так называемая упорядоченная нумерация, при которой номер вершины, стоящей в начале дуги (в хвосте стрелки), будет меньше номера вершины, стоящей в конце дуги (у острия стрелки), т.е. для любой дуги  $i < j$ . Большинство алгоритмов, по которым производятся расчеты, связанные с сетевыми графиками, ориентированы именно на упорядоченную нумерацию вершин.

Упорядочение вершин может быть выполнено самой ЭВМ по специальной программе. При списочном задании сетевого графика упорядочение производится вручную до записи информации на машинные носители. Для этого применяется алгоритм, который называется способ вычерчивания выходящих дуг. Он состоит в следующем: на графике отыскивается вершина (или вершины), не имеющая входящих дуг; этой вершине (вершинам) присваивается очередной порядковый номер (очередные порядковые номера); вычеркиваются все дуги, выходящие из отмеченной вершины (из отмеченных вершин) и в предположении, что вычеркнутых дуг больше нет, алгоритм начинают сначала, пока не будет пронумерована последняя вершина.

Формальные правила построения сетевых графиков являются общими для всех сетевых графиков независимо от того, какие проекты они моделируют; строительство гидроузла, . разработку проекта турбогенератора или организацию учебного процесса в вузе. Соблюдение правил позволяет применять к обработке всех сетевых графиков одни и те же алгоритмы и программы для ЭВМ.

**Правило 1.** Ни одна работа в сетевом графике не может начаться прежде, чем будут окончены все без исключения предшествующие ей работы.

Следствием этого правила является требование, чтобы в сетевом графике не было циклов.

**Правило 2.** В сетевом графике не должно быть двух и более работ, имеющих одинаковый код (это правило называют правилом изображения параллельных работ, т.е. таких, которые могут выполняться одновременно). Так как ЭВМ различает работы только по коду, то она не сумеет отличить в данном случае одну работу от другой. Для правильного изображения этого фрагмента нужно ввести два дополнительных события и две фиктивные работы. В форме стрелка-связь фиктивных работ не требуется.

**Правило 3.** В сетевом графике не должно быть ни одного события, кроме начального, не имеющего предшествующих работ.

**Правило 4.** В одноцелевом сетевом графике не должно быть ни одного события, кроме конечного, не имеющего последующих работ.

**Правило 5.** Правило изображения сложных работ. Сложной может называться работа, выполнение части которой достаточно для начала одной из последующих работ. Для сокращения общей продолжительности выполнения проекта сложная работа должна быть поделена на простые, и

последующие работы должны начинаться сразу, как только это физически окажется возможным.

**Правило 6.** Правило употребления фиктивных работ. Как уже отмечалось, фиктивные работы - это вспомогательный элемент при изображении сетевых графиков в форме работа - стрелка. В ряде случаев в сетевой график целесообразно ввести дополнительные фиктивные работы, которые будут избыточными, но позволят сделать график более наглядным.

Однако при этом следует помнить, что увеличение числа фиктивных работ соответственно увеличит объем работы по подготовке исходных данных для расчета сетевого графика и время расчетов. Таким образом, следует стремиться к тому, чтобы, по крайней мере, не вводить совершенно бесполезные фиктивные работы.

Временной характеристикой всего сетевого графика является продолжительность критического пути  $T_{кр}$ . В одноцелевом графике существует, по крайней мере, один критический путь, хотя таких путей может быть и несколько. Возможны случаи, когда все пути в сетевом графике будут критическими. В многоцелевом сетевом графике минимальное количество критических путей равно числу конечных событий (целей), причем продолжительности этих путей могут быть разными.

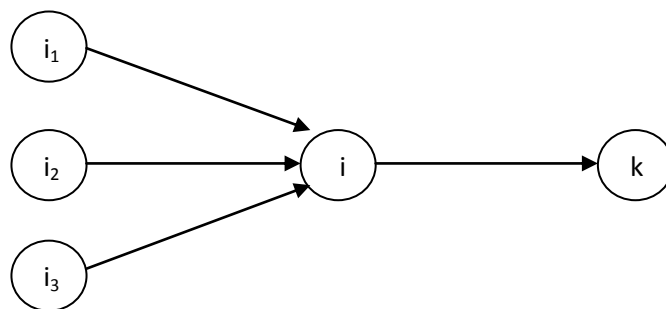
Для каждой работы в сетевом графике определяют 6 временных параметров:  $t_{ij}^{рн}$  - раннее начало;  $t_{ij}^{ро}$  - раннее окончание;  $t_{ij}^{пн}$  - позднее начало;  $t_{ij}^{по}$  - позднее окончание;  $R_{ij}^п$  - полный резерв времени;  $R_{ij}^с$  - свободный резерв времени.

Ранние начала, и ранние окончания находятся в процессе расчета графика от начального события к конечному. Раннее окончание работы связано с ее ранним началом зависимостью:

$$t_{ij}^{ро} = t_{ij}^{рн} + t_{ij} \quad (3.1)$$

где  $t_{ij}$  - продолжительность выполнения работы.

**Раннее начало работы** есть самый ранний срок, в который работа может начаться. Численно он равен продолжительности самого длинного предшествующего данной работе пути. Как бы много ни было этих предшествующих путей им всегда будут принадлежать работы, непосредственно предшествующие данной.



Из рис.3.1 первого правила построения сетевых графиков следует, что:

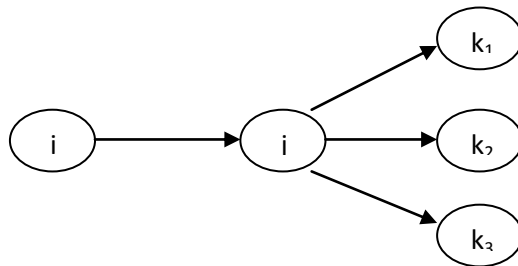
$$t_{jk}^{рн} = \max \{ t_{ij}^{ро} \} \quad (3.2)$$

Вычисления по этой формуле производятся шаг за шагом в направлении от начального события к конечному.

Поздние начала, и поздние окончания отыскиваются в процессе расчета графика «ходом назад» - от коечного события к начальному. Они связаны зависимостью:

$$t_{ij}^{пн} = t_{ij}^{по} - t_{ij} \quad (3.3)$$

**Позднее окончание работы** определяет самый поздний срок, в который работа может окончиться, не увеличивая продолжительности критического пути. Численно позднее окончания работы равно разности между продолжительностью критического пути и самого длинного последующего за данной работой пути. Как бы много ни было таких путей им всегда будут принадлежать работы, непосредственно последующей за данной.



В соответствии с определением и рисунком следует, что

$$t_{ij}^{по} = \min \{t_{jk}^{пн}\} \quad (3.4)$$

Действительно, если из постоянной продолжительности критического пути вычитать длины разных по продолжительности путей, то минимум разности получится тогда, когда будет вычитаться путь максимальной длины. Вычисления по этой формуле происходят шаг за шагом от конечного события к начальному.

Полный резерв времени работы показывает, на какой промежуток времени можно отодвинуть сроки выполнения работы вправо (в сторону их увеличения), не увеличивая продолжительности критического пути:

$$R_{ij}^п = t_{ij}^{по} - t_{ij}^{по} = (t_{ij}^{пн} + t_{ij}) - (t_{ij}^{по} + t_{ij}) = t_{ij}^{пн} - t_{ij}^{пн} \quad (3.5)$$

Если на какой то работе использован весь полный резерв времени, то по крайней мере один из последующих за данной работой путей станет критическим.

Свободный резерв времени определяет промежуток времени, на который можно отодвинуть сроки выполнения работы вправо, не меняя ранних начал последующих за ней работ, и вычисляется как

$$R_{ij}^с = t_{ik}^{пн} - t_{ij}^{по} \quad (3.6)$$

Так как работы  $jk$ , последующие за работой  $y$ , все равно не могут начаться раньше, чем это определено их ранним началом  $t_{ik}^{пн}$ , то использование свободного резерва на данной работе никак не отражается на сроках выполнения последующих работ.



Между резервами времени, которыми располагают работы, существует соотношение

$$R_{ij}^n > R_{ij}^c \quad (3.7)$$

Кроме того, резервы не отрицательны:  $R_{ij}^n > 0$  и  $R_{ij}^c \geq 0$ .

Работы, принадлежащие критическому пути, имеют резервы времени, равные нулю, т.е. для них  $R_{ij}^n = R_{ij}^c = 0$ .

При расчете сетевых графиков в табличной форме используется списочная форма задания сетевого графика в котором указываются цифровые коды  $u$  и продолжительность работ  $t_{ij}$ .

Обязательна упорядоченная нумерация событий. Работы заносятся в список в порядке возрастания первых чисел их кодов  $I$ , при этом вначале записываются все работы, выходящие из 1-го (начального) события и имеющие первое число кода 1, затем - все работы, выходящие из 2-го события (начальное число кода - 2); потом из 3-го и т.д. Работы, выходящие из одного события, заносятся в список в порядке возрастания вторых чисел их кодов  $j$ . Так, если из события 5 выходят работы 5-6, 5-9, 5-8, то в список они должны заноситься в порядке 5-6, 5-8, 5-9.

При упорядоченной нумерации событий (для всех работ) и соблюдении правил занесения работ в список для любой работы  $ij$  вся информация о предшествующих работах будет расположена в строках таблицы, находящихся выше той, в которой записана информация о данной работе. При этом работы, непосредственно предшествующие данной, последним числом кода будут иметь  $j$ , т.е. начальное число кода данной работы. Вся информация о работах, последующих за работой  $u$ , будет записана в строках таблицы, лежащих ниже. При этом работы, непосредственно последующие за данной, первым числом кода будут иметь  $j$ , т.е. последнее число кода данной работы.

Цель расчета состоит в определении ранних и поздних сроков выполнения работ, резервов времени, которыми располагают работы, а также в индикации критического пути и определении календарных сроков выполнения работ, например по их ранним началам.

Расчет ранних сроков выполнения работ производится «ходом вперед», что соответствует движению в направлении от первой строки к последней. Алгоритм расчета ранних сроков следующий:

- 1) определяются ранние начала работ, выходящих из начального события (первое число кода этих работ  $i = 1$ );
- 2) по формуле находятся ранние окончания тех работ, для которых определены их ранние начала (если определено раннее окончание последней работы, переходят к п.4);
- 3) по формуле определяются ранние начала работ, первое число кода которых равно  $i + 1$  (переход к п.2);
- 4) конец.

Продолжительность критического пути равна максимальному из чисел 5-го столбца таблицы.

Расчет поздних сроков выполнения работ ведется «ходом назад».

Алгоритм расчета поздних сроков такой:

- 1) определяется позднее окончание работ, входящих в последнее событие (последнее число кода этих работ равно числу событий в графике j), оно равно продолжительности критического пути;
- 2) по формуле находятся поздние начала работ, для которых найдены их поздние окончания, если определено позднее начало работы, код которой записан в первой строке, переходят к п.4;
- 3) по формуле находятся поздние окончания работ, последнее число кода которых равно j- 1, переход к п.2
- 4) конец.

Далее следует расчет резервов времени, который можно выполнять в произвольном порядке. Однако целесообразно вначале вычислить полные резервы времени и если они окажутся равными нулю, то для этих работ можно будет не вычислять свободных резервов, ибо последние будут равны нулю.

По формуле определяют свободные резервы для всех остальных работ.

3.2 Исходные данные для расчета сетевого графика изготовления макета приведены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1-перечень работ.

Код работ	Наименование работы	Код события	Наименование события	Продолжительность работы, дн
1-2	Изучение конструкций кабин и требований к их микроклимату	2	Определение цели работ и задачи по их выполнению	4
2-3	Изучение литературных источников по физиологическим требованиям и комфортных тепловых условий операторам	3	Составлено требование к радиационной и конвективной температуре оператора в целом и отдельно для головы, туловища, бедер и ног	5
3-4	Изучение методик расчета параметров микроклимата в кабинах для теплого и холодного периодов года	4	Проведен анализ методик расчета, составление пояснительной записки	5
4-3	Приобретение материалов	3	Закуплены материалы бумага, канцелярский товары, аренда компьютера	1

Продолжение таблицы 3.2.1

5-6	Разработка рациональной радиационно-конвективной нормализации микроклимата в кабинах	6	Предложена схема распределения тепла радиационных и конвективных потоков для теплого и холодного периодов года	2
6-7	Разработка методики расчета радиационно-конвективной системы отопления	7	Методика расчета микроклимата для модульных кабин экскаваторов	5
7-8	Выполнение примера расчета системы нормализации микроклимата в кабинах	8	Представлен пример расчета для модульных кабин экскаваторов	2
8-9	Составление пояснительной записки	8	Пояснительная записка готова	5
9-10	Защита дипломной работы	9	Работа защищена	1

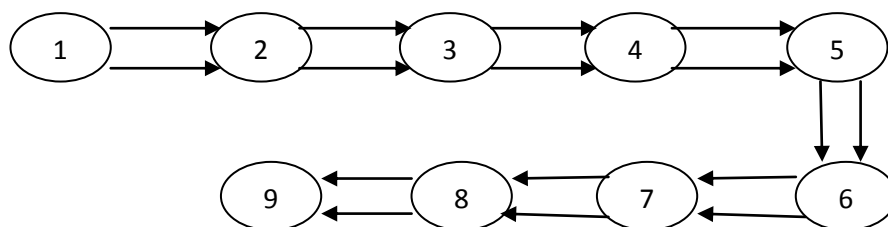


Рис.3.2.1 Сетевой график процесса выполнения дипломной работы.

Таблица 3.2.2. Расчет параметров сетевого графика табличным методом.

Предшествующее событие	Последующие событие	Продолжительность работы	Раннее начало работ	Раннее окончание работ	Позднее начало работ	Позднее окончание работ	Полный резерв времени работ	Частный резерв времени работ
i	j	$t_{ij}$	$t_{p.n(ij)}$	$t_{p.o(ij)}$	$t_{п.н(ij)}$	$t_{п.о(ij)}$	$R_{n(ij)}$	$Ч_{(ij)}$
1	2	4	0	4	0	4	0	0
2	3	5	4	9	4	9	0	0
3	4	5	9	14	9	14	0	0
4	3	1	14	15	14	15	0	0
5	6	2	15	17	15	17	0	0
6	7	5	17	22	17	22	0	0
7	8	2	22	24	22	24	0	0
8	9	5	24	29	24	29	0	0
9	10	1	29	30	29	30	0	0

i – предшествующее событие;

j – последующее событие;

$t_{ij}$  – продолжительность работы;

$t_{p.n(ij)}$  – раннее начало работ;

$t_{p.o(ij)}$  – раннее окончание работ;

$t_{п.н(ij)}$  – позднее начало работ;

$t_{п.о(ij)}$  – позднее окончание работ;

$R_{n(ij)}$  – полный резерв времени работ;

$Ч_{(ij)}$  – частный резерв времени работ.

Для расчета полного и частного резервов времени работ используются следующие формулы:

$$R_{n(ij)} = t_{п.о(ij)} - t_{p.o(ij)} \quad (3.8)$$

$$Ч_{(ij)} = t_{p.n(ih)} - t_{p.o(ij)} \quad (3.9)$$

где  $t_{p.n(ih)}$  – раннее начало последующей работы.

Вывод: сетевой график составления пояснительной записки имеет путь:

$$L = 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10; \quad t_1 = 30 \text{ дн.}$$

Критический путь равен 30 дней и не имеет резервов времени.

### 3.3 Смета затрат на выполнение пояснительной записки.

Себестоимость продукции - это стоимостная оценка используемых в процессе производства продукции природных ресурсов, сырья, материалов, топлива, энергии, основных фондов, трудовых ресурсов, а также других затрат на её производство и реализацию. Состав себестоимости регламентируется Постановлением Правительства РФ №552 от 05.08.92 г. с учетом изменений и дополнений №661 от 01.07 95 г. и главой 25 Налогового кодекса РФ

- Материальные затраты (за вычетом стоимости возвратных отходов);
- Затраты на оплату труда (все виды оплаты труда и другие выплаты);
- Отчисления на социальные нужды;
- Амортизация основных фондов;
- Прочие денежные затраты.

Таблица 3.3.1 Расчет себестоимости материалов, необходимых для составления пояснительной записки.

Наименование материалов	Количество	Цена, руб	Сумма, руб
Бумага, уп	1	300	300
Аренда персонального компьютера, ч	150	50	7500
Тетрадь, шт	1	38	38
Ручка, шт	2	22	44
Карандаш, шт	1	12	12
Итого:			7894

Расчет расходов на оплату труда исполнителю, занятому изготовлением стенда, руководителю дипломной работы, консультантам по экономике и БЖД.

Исполнитель - тарифная ставка - 12 000 рублей в месяц;

Районный коэффициент - 30%;

Северная надбавка - 30%;

Месячный оклад 12 000 рублей  $\times 30\% \times 30\% = 19\,200$  рублей

Продолжительность выполнения работ - 30 календарных дней.

$19\,200 \text{ рублей} \times 1 \text{ месяца} = 19\,200 \text{ рублей}$

Руководитель - профессор д. т. н.  
Тарифная ставка: 16 разряд 500 руб\час.  
Продолжительность консультаций - 20 часов.  
 $500 \text{ рублей} \times 20 \text{ часов} = 10000 \text{ рублей}$ .  
Консультации по экономики: доцент к. х. н.  
Тарифная ставка: 13 разряд 300 руб\час.  
Продолжительность консультаций - 5 часов.  
 $300 \text{ рублей} \times 5 \text{ часов} = 1500 \text{ рублей}$ .  
Консультации по БЖД: доцент к. т. н.  
Тарифная ставка: 13 разряд 300 руб\час  
Продолжительность консультаций - 5 часов.  
 $300 \text{ рублей} \times 5 \text{ часов} = 1500 \text{ рублей}$ .

Таблица 3.3.2 Смета затрат на выполнение пояснительной записки.

Элементы	Сумма, руб
Материалы	7894
Оплата труда исполнителя	19200
Оплата труда руководителя	10000
Оплата труда консультанта по экономике	1500
Оплата труда консультанта по БЖД	1500
Единый социальный налог – 30%	12028
Амортизационные отчисления	1000
Итого	41094
Накладные расходы -15%	6164
Всего	47258

Вывод: Разработана сетевая модель выполнения работы. Критический путь составляет 30 дней, что свидетельствует о выполнении работы в установленный учебным графиком срок. Составлена смета затрат на выполнение работы, равная 47258 рублей.

#### **4.Безопасность жизнедеятельности**

Поскольку создание комфортных условий работе оператора сводится к созданию оптимального микроклимата в кабине, физической, психологической и моральной нагрузке при работе оператора, определяемые усилиями на рычагах управления, величиной перемещения этих рычагов управления и снижением напряженности в процессе работы оператора, а также показателями шума, вибрации, освещенности в кабине и забое, обзорности рабочей зоны забоя из кабины, то первый аспект касающейся микроклимата изложен в настоящей работе, остальные аспекты учтены при проектировании и изготовлении кабины управления экскаватора. Экскаваторы моделей ЭКГ электромеханические. Вопросы безопасности работы с электроприборами изложены в инструкции по технике безопасности экскаватора, в том числе и с электронагревателями. Поэтому в настоящей работе не излагаются.

##### **4.1. Общие требования безопасности**

- 1) К управлению экскаватором с электромеханическим прибором типа ЭКГ допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр и признанные годными по состоянию здоровья, обученные безопасным методам труда и имеющие удостоверения на право управления, прошедшие инструктаж по безопасности труда.
- 2) Проверку знаний по безопасности труда машинистов экскаваторов должна ежегодно проводить квалификационная комиссия, организуемая на основании приказа по организации (предприятию).
- 3) Машинистам, успешно прошедшим проверку знаний, выдают удостоверения на право самостоятельной работы. Удостоверения, выданные комиссией, действительны и в других организациях. При перерывах в работе по данной специальности более одного года машинисты должны пройти обучение по безопасности труда до начала самостоятельной работы.
- 4) Машинисты экскаваторов должны иметь 2 квалификационную группу по электробезопасности.
- 5) Машинисты, обслуживающие экскаваторы, должны быть ознакомлены с инструкцией по эксплуатации завода-изготовителя.
- 6) Машинисты должны работать в спецодежде, спецобуви и применять средства индивидуальной защиты в соответствии с характером выполняемой работы и отраслевыми нормами бесплатной выдачи спецодежды, спецобуви и предохранительных приспособлений.

**Машинисту экскаватора предусмотрен:**

- костюм хлопчатобумажный;
- кепи;
- ботинки кожаные (сапоги кирзовые);
- рукавицы комбинированные;

- каска защитная.

**Зимой дополнительно:**

- куртка хлопчатобумажная на утепляющей прокладке;
- брюки хлопчатобумажные на утепляющей прокладке;
- подшлемник;
- сапоги кирзовые утепленные.

7) Во время движения необходимо соблюдать Правила дорожного движения.

8) Машинистам экскаваторов запрещается:

- приступать к работе в нетрезвом состоянии;
- курить и пользоваться открытым огнем в местах, где производится заправка машин топливом и маслом, перевозить и хранить горюче-смазочные материалы в кабине машины;
- работать на экскаваторе при движении на подъем или с уклона, где угол наклона больше, чем указан в паспорте (инструкции по эксплуатации).

9) Каждый экскаватор закрепляется за машинистом или обслуживающей его бригадой приказом по организации (предприятию). Замена машинистов и их помощников на машине без приказа не допускается.

10) Перед вводом в эксплуатацию отремонтированных экскаваторов проводится их наладка, освидетельствование и испытание. Машина не может быть пущена в эксплуатацию без санкции главного инженера или главного механика организации (предприятия).

11) Самоходные экскаваторы должны находиться в технически исправном состоянии и оборудоваться звуковой, световой или комбинированной сигнализацией и зеркалом заднего вида.

12) Все движущиеся части машин и механизмов, а также цепные, ременные и другие передачи должны быть ограждены в местах доступа к ним людей. Для удобства осмотра и смазки ограждения должны быть легкоъемными или с открывающимися дверцами.

13) На экскаваторе или в зоне его работы следует вывесить предупредительные знаки, надписи, плакаты и инструкции по охране труда.

14) В случае работы экскаватора в темное время суток (при плохой видимости) место работы, рабочие органы и механизмы управления должны быть освещены.

15) Заправка экскаваторов горюче-смазочными материалами должна производиться, как правило, днем. Ночью заправку разрешается производить лишь в исключительных случаях и обязательно при электрическом освещении (не менее 10 лк).

16) Чистить, смазывать и ремонтировать экскаваторы необходимо после их полной остановки (при выключенном двигателе), при этом должна исключаться возможность их запуска.

17) Корпуса экскаваторов и механизмов с электроприводом, корпуса электродвигателей, понижающих трансформаторов, пусковых аппаратов, кожухов рубильников и других устройств необходимо заземлять в



соответствии с Правилами устройства электроустановок и Инструкцией по заземлению передвижных строительных механизмов и электрифицированного инструмента.

18) Установка и работа экскаваторов на расстоянии ближе 30 м от крайнего провода линии электропередачи или воздушной электрической сети может производиться только по наряду-допуску, определяющему безопасные условия такой работы. Наряд-допуск должен быть подписан главным инженером организации и лицом, ответственным за электрохозяйство организации-владельца линии.

19) При работе экскаваторов в зоне расположения подземных коммуникаций земляные работы должны производиться под наблюдением прораба или мастера, а в непосредственной близости от газопровода или электрокабелей, находящихся под напряжением, кроме того, под наблюдением работников газового или электрохозяйства.

20) Перед перемещением экскаваторов через мосты (путепроводы) нужно убедиться в том, что грузоподъемность мостов (путепроводов) и их техническое состояние обеспечивают безопасный проезд, а габариты мостов (путепроводов) соответствуют габаритам данного типа экскаваторов.

21) Движение по железнодорожным переездам экскаваторов, скорость которых менее 5 км/ч, разрешается только начальником дистанции пути и производится в присутствии дорожного мастера или бригадира пути, а на электрифицированных участках при высоте перевозимого экскаватора более 4,5 м в присутствии представителя дистанции контактной сети.

22) При установке и передвижении экскаваторов должны быть приняты меры, исключающие возможность их произвольного перемещения и опрокидывания под действием силы тяжести и внешних нагрузок.

23) В кабине экскаватора необходимо иметь пакет первой медицинской помощи и огнетушитель.

24) Транспортировка экскаваторов на прицепах или железнодорожной платформе производится в транспортном положении.

Под гусеницы необходимо подложить башмаки (спереди и сзади).

Выключить передачу, машину затормозить.

Рабочий орган следует опустить, а машину прикрепить к платформе при помощи растяжек.

25) Не допускается нахождение людей на экскаваторе или платформе во время транспортирования.

26) Работа на экскаваторе в холодное время года допускается после удаления с рабочих органов и ходовых частей льда, снега и грунта.

27) При обнаружении в разрабатываемом грунте крупных камней или других предметов, мешающих движению или работе землеройной машины, необходимо ее остановить и удалить препятствие. Если крупные камни находятся на откосах выемок и забоев, землеройную машину необходимо предварительно отвести на безопасное расстояние.

28) Перед началом производства работы необходимо опробовать на месте без нагрузки работу отдельных механизмов, переключающих устройств,

тормозов, исправность сигнализации и освещения, контрольно измерительных приборов.

29) В мастерских для ремонта машин не разрешается: курить, пользоваться открытым огнем и паяльными лампами; хранить легковоспламеняющиеся и горючие жидкости в количествах, превышающих сменную потребность; загромождать проходы к местам расположения пожарного инвентаря и оборудования.

30) Опасные и вредные производственные факторы:

- установка экскаватора на площадке, когда расстояние от наружного края гусеницы до бровки траншеи (котлована) менее 1 м;
- нахождение людей вблизи рабочей машины;
- работа под проводами ЛЭП;

31) За невыполнение требований настоящей инструкции работник несет ответственность в соответствии с действующим законодательством.

#### **4.2 Требования безопасности перед началом работы**

- 1) Проверить исправность освещения, сигнализации, тормозов, состояние канатов и агрегатов гидравлической системы, а на экскаваторе с электроприводом - состояние электрооборудования и заземления.
- 2) Осмотреть место предстоящей работы и установить, насколько оно отвечает требованиям безопасности.
- 3) Путь, по которому передвигается экскаватор в пределах объекта производства работ, должен быть заранее выровнен и спланирован, а на слабых грунтах усилен щитами или настилом.

#### **4.3 Требования безопасности при выполнении работы**

- 1) На экскаваторе необходимо соблюдать чистоту. Весь инструмент следует хранить в исправном состоянии в специально отведенных для этого местах.
- 2) Не оставлять машину без присмотра с работающим двигателем.
- 3) При работе экскаватора запрещается:
  - находиться под его ковшом или стрелой;
  - регулировать тормоза при поднятом ковше;
  - производить ремонтные работы и регулировку узлов;
  - производить какие-либо работы со стороны забоя;
  - находиться людям ближе радиуса действия экскаватора плюс 5 м;
  - поднимать или перемещать негабаритные грузы: крупные куски породы, бревна, балки при помощи ковша (кроме щитов, необходимых для перемещения самого экскаватора);
  - работать в дождливую погоду и грозу;
- 4) Во время перерывов в работе независимо от их причин и продолжительности, а также при очистке ковша стрелу экскаватора следует

отвести в сторону от забоя, а ковш опустить на грунт.

5) Ремонтные работы разрешено выполнять только на специально подготовленных площадках.

6) Во время движения одноковшового экскаватора его стрелу необходимо устанавливать строго по направлению хода, а ковш опускать на высоту не более 1 м от земли.

7) При проезде под линией электропередачи, находящейся под напряжением, рабочие органы экскаватора должны находиться в транспортном положении. Передвижение экскаватора вне дороги под проводами линии электропередачи, находящейся под напряжением, следует производить в месте наименьшего провисания проводов (ближе к опоре).

8) При погрузке грунта в транспортные средства не проносить ковш экскаватора над людьми и кабиной водителя. При погрузке в транспортные средства, не имеющие над кабиной предохранительного бронировочного щита, водитель должен выйти из кабины автомобиля.

9) При погрузке грунта экскаватором необходимо:

- ожидающие погрузку транспортные средства размещать за пределами радиуса действия экскаваторного ковша;
- подъезд автотранспорта под погрузку осуществлять только после сигнала машиниста экскаватора;
- погрузку грунта в транспортные средства производить только со стороны заднего или бокового борта;
- нагруженный транспорт отводить только после сигнала машиниста экскаватора.
- В зимний период при преодолении крутых подъемов и наледей необходимо дорогу посыпать песком.

## 5. Заключение

В настоящей работе были проанализированы способы нормализации микроклимата в кабинах мобильных машин. Информационный материал показал, что система нормализации, как в холодный, так и в теплый периоды года учитывают тепломассообмен между кабиной и окружающей средой. Системы кондиционирования воздуха наиболее полно отражают влияние радиационной составляющей ограждений кабины и солнечной радиации в зависимости от прозрачности остекления кабины на оператора. Расчет холодопроизводительности кондиционеров приводится достаточно полно, поэтому обеспечение теплового комфорта в теплый период года в настоящей работе рассматривается только как возможного совмещения с системой отопления в холодный период года.

С учетом того что добыча полезных ископаемых открытым способом с каждым годом все дальше продвигается в районы с холодным климатом года в работе рассматривается возможность создания системы отопления для кабин в районах с умеренным и холодным климатом. При наружных температурах до -40-60 градусов наиболее остро ощущается отрицательное воздействие на операторов радиационных температур идущих от ограждающих его внутренних поверхностей кабины.

Анализ физиологических исследований показал, что отдельные элементы операторов машин головы, туловища, бедер и ног в зависимости от находящихся на них одежды и интенсивности работы операторов требует различных значений влияющих на них результирующей температуры которая складывается из температуры конвективной и из радиационной. Поэтому при разработке системы отопления было предложено радиационно-конвективная система отопления с греющим полом. Расчеты данной системы отопления с учетом коэффициентов облученности различных элементов поверхностей оператора показали эффективность такой системы при наиболее комфортной одежде оператора находящегося при работе в кабине.

При расчете теплообмена с окружающей средой учтен коэффициент запаса мощности системы отопления для более быстрого обеспечения теплового комфорта в кабине в соответствии с требованиями государственных стандартов. Применение новых теплоизоляционных материалов и стеклопакетов с двойным и тройным остеклением позволит значительно уменьшить энергозатраты на создание в кабине теплового комфорта.

## Справочные материалы.

Таблица 1

Климатический период	Климатическое исполнение	Расчетное значение климатических факторов окружающей среды		
		Скорость ветра, м/с	Температура окружающего воздуха, °С	Интегральная поверхностная плотность потока суммарного солнечного излучения, Вт/м <sup>2</sup>
Теплый период года	У, ХЛ	Не более 5 м/с	40 +/- 1,15	На горизонтальную поверхность -890
				На вертикальную поверхность - 1040
Холодный и переходный периоды года	У	Не более 5 м/с	-41+/- 1,5	-
	ХЛ	Не более 5 м/с	-53+/- 1,5	-

Таблица 2. Расчетные параметры микроклимата по воздуху, принимаемые в кабинах.

Сезон года	Категория работ	Температура °С		Скорость движения воздуха м/с		Относительная влажность, %	
		Оптимальные нормы по ГОСТ 12.1.005-86	расчетные	Оптимальные нормы по ГОСТ 12.1.005-86	расчетные	Оптимальные нормы по ГОСТ 12.1.005-86	расчетные
Холодный и переходный периоды	Легкая	20-23	17+/-2	0,2 0,2-0,3	Не более 0,3	60-40	60-40
	Средняя	17-20					
Теплый период	Легкая	22-25	23+/-2	0,2		60-40	
	средняя	23+/-2		0,3-0,4			

Таблица 3. Коэффициенты теплопропускания солнцезащитных устройств.

Солнцезащитные устройства	Коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройства
А. Наружные	
1. Штора или маркиза из светлой ткани	0,15
2. Штора или маркиза из темной ткани	0,20
3. Ставня-жалюзи с деревянными пластинами	0,10/0,15
4. Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,15/0,20
Б. Межстекольные (непроектируемые)	
5. Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,30/0,35
6. Штора из светлой ткани	0,25
7. Штора из темной ткани	0,40
В. Внутренние	
8. Штора-жалюзи с металлическими пластинами	0,60/0,70
9. Штора из светлой ткани	0,40
10. Штора из темной ткани	0,80

Таблица 4. Коэффициент  $K_g$ , учитывающий снижение поступление тепла в помещении за счет загрязнения остекления световых проемов.

Степень загрязнения остекления	Коэффициент $K_g$	
	Для вертикального остекления ( $80^\circ$ - $90^\circ$ )	для горизонтального остекления ( $0^\circ$ - $80^\circ$ )
Значительное	0,85	0,75
Умеренное	0,9	0,80
Незначительное	0,95	0,85
Чистое стекло	1	0,95

Таблица 5.

Материал наружной поверхности ограждающей конструкции	Коэффициент поглощения солнечной радиации светопрозрачными ограждениями, и не прозрачными наружными ограждениями
1.Алюминий	
2.Асбестоцементные листы	0,5
3.Асфальтобетон	0,65
4.Бетон	0,9
5.Дерево неокрашенное	0,7
6.Защитный слой рулонной кровли из светлого гравия	0,6
7.Кирпич глиняный красный	0,65
8. Кирпич силикатный	0,7
9.облицовка природным камнем белым	0,6
10.Окраска силикатная темно-серая	0,45
11.Окраска известковая белая	0,7
12.Плитка облицовочная керамическая	0,3
13.Плитка облицовочная стеклянная синяя	0,8
14.Плитка облицовочная белая или палевая	0,6
15.Рубероид с песчаной посыпкой	0,45
16.Сталь листовая, окрашенная белой краской	0,9
17.Сталь листовая, окрашенная темно-красной краской	0,45
18.Сталь листовая, окрашенная зеленой краской	0,8
19.Сталь кровельная	0,6
20. Стекло облицовочное	0,65
21.Штукатурка известковая темно-серая терракотовая	0,7
22.Штукатурка цементная светло-голубая	0,3
23.Штукатурка цементная темно-зеленая	0,6
24.Штукатурка цементная кремовая	0,4

Таблица 6. Теплоизоляционные свойства различной одежды.

Одежда	$R_{од}$ , кло	Коэффициент излучения поверхности
Легкая спецодежда: шорты, носки, х/б рубашка, брюки	0,6	1,1
Деловой костюм	1,0	1,15
Деловой костюм, плащ	1,5	1,15
Традиционная спецодежда: х/б нижнее белье, рубашка, шерстяные носки, обувь.	1,5	1,15-1,2
Легкая спортивная одежда	0,9	1,15
Теплая зимняя одежда	3-4	1,3-1,5



### Пример расчета

#### 1. Исходные расчетные данные теплоотдающих поверхностей унифицированной кабины.

1. Теплотехнические характеристики теплоотдающих поверхностей кабины приведены на черт.1, черт.2.
2. Резиновые уплотнения дверных и оконных проемов  
Периметр 13,5 м,  $S=0.2 \text{ м}^2$
3. Термическое сопротивление воздушной прослойки 5 мм,  $R=0,133 \text{ град.м}^2$
4. Коэффициенты теплопроводности материалов, составляющих ограждение кабины, в Вт/м.град: сталь,  $\lambda=63$ , стекло –  $\lambda=0,74$ , пенополиуретан,  $\lambda=0,046$ , фанера ФБА –  $\lambda=0,17$ , резина  $\lambda=0,16$ , венилоискожа  $\lambda=0,14$ , войлок  $\lambda=0,07$ .

#### 2. Расчет полезной холодопроизводительности системы и параметров наружного воздуха

Суммарная тепловая нагрузка на кабину определяется по формуле (2.1) для кабины «У» :

$$Q = 3513 \text{ Вт}$$

Для кабины «ХЛ»:

$$Q' = 3476 \text{ Вт}$$

При этом тепlopоступления от двигателя и трансмиссии экскаваторов в исполнении «У» и «ХЛ»,  $Q_{\text{дв}}$  выбираем из таблицы, равным 400 Вт, как для унифицированной кабины многоцелевого назначения.

Тепlopоступления от оператора  $Q_{\text{ч}}$  определяем из таблицы равным  $Q_{\text{ч}}=172 \text{ Вт}$ , при средней температуре воздуха в кабине  $23^{\circ}\text{C}$  и среднем режиме работы.

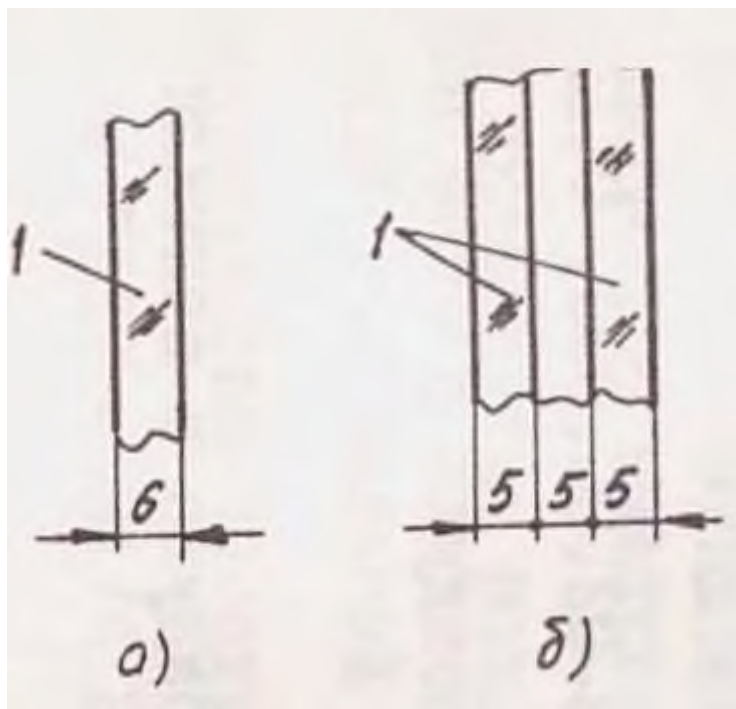
Тепlopоступления через наружные ограждения кабины определяем по формуле (2.2) для кабины «У»:

$$Q_{\text{огр}}=2941 \text{ Вт}$$

для кабины «ХЛ»:

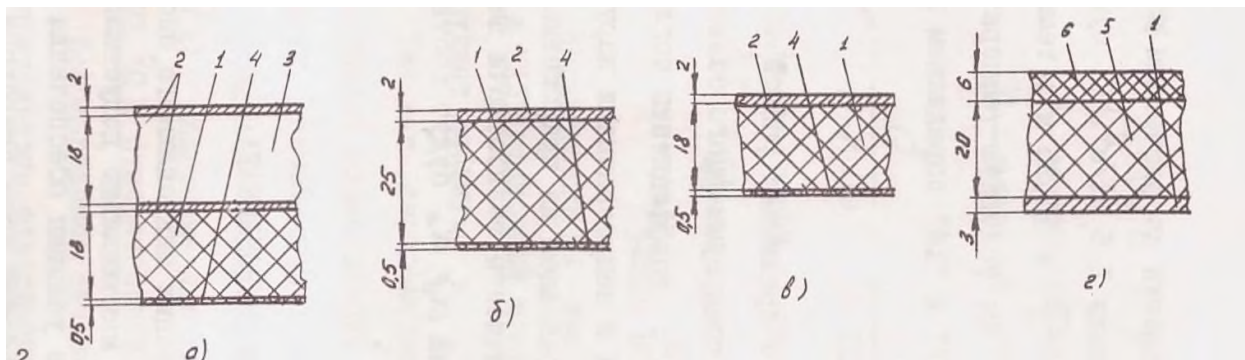
$$Q'_{\text{огр}}=2904 \text{ Вт},$$

при этом площадь световых проемов кабин  $F_{\text{св}}=4,0 \text{ м}^2$ , удельные тепlopоступления от солнечной радиации через светопрозрачные ограждения,  $q_{\text{св}}=890 \text{ Вт/м}^2$ ; коэффициент теплопередачи наружных ограждений кабины  $K_{\text{тп}}$  при двойном остеклении по расчетным данным 1,42



Черт.1 Остекление

1- Стекло; площадь стекол: общая –  $4,0 \text{ м}^2$ , лобового  $-1,44 \text{ м}^2$ ;  
 боковых-  $1,88 \text{ м}^2$ , заднего  $0,68 \text{ м}^2$ ; а - исполнение «У»;  
 б – исполнение «ХЛ»



Черт.2 Непрозрачные ограждения кабины.

1-пенополиуретан, 45-0,8 ОСТ 6-05-407-75

2-сталь; 3-воздушная прослойка; 4 – винилискожа;

5-войлок; 6- резина;

А- исполнение «У»,  $S=3,62 \text{ м}^2$ ;

Б- исполнение «ХЛ»,  $S=5,1 \text{ м}^2$

В- крыша в исполнении «У»,  $S=1,48 \text{ м}^2$

Г-пол,  $S=,25 \text{ м}^2$

Вт/м<sup>2</sup>.°С, при одинарном остеклении 1,5 Вт/м<sup>2</sup>, суммарная площадь наружных ограждений кабины  $F_{\Sigma} = 10,35 \text{ м}^2$ ; температуру воздуха в кабине  $t_{в}$  принимаем 23°С;

условную температуру окружающего воздуха  $t_{г}^{ysl}$  для кабины "У" и "ХЛ" определяем по формуле (2.4):

$$t_{г}^{ysl} = 6 \text{ } ^\circ\text{С},$$

при этом температуру окружающего воздуха принимаем равной 40 °С; интегральная поверхностная плотность потока суммарного солнечного излучения принимаем равной 1040 Вт/м<sup>2</sup>; коэффициенты поглощения солнечной радиации светопрозрачными и непрозрачными наружными ограждениями кабины  $\rho_{св}, \rho_{непр}$  определяем из приложения I соответственно равным 0,7; 0,5; коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности ограждений  $\alpha_{в}, \alpha_{н}$  будут соответственно 8,7 и 23 Вт/м<sup>2</sup> по приложению 1.

### 3. Выбор типа системы нормализации микроклимата.

Рассматриваем возможность нормализации микроклимата посредством вентиляции. Для этого определяем максимально допустимое количество приточного воздуха  $G_{пр}^{max}$  из условия обеспечения допустимой скорости движения воздуха в рабочей зоне оператора и проверяем выполнение неравенства, приведенного в формуле (2.5).

При этом  $G_{пр}^{max*}$  принимаем равной производительности транспортного кондиционера по воздуху КТА 2-0,53-02.00.000, 0,111 м<sup>3</sup>/с, величина локального нагрева наружного воздуха в зоне воздухозабора  $\Delta t_{лок}$  равна 3 °С.

Мощность, расходуемая на нагрев воздуха в вентиляторе равна 15 Вт:

$$Q = V * \gamma * C_o * \Delta t_{вент}$$

где V- производительность по воздуху, 0,111 м<sup>3</sup>/с;

$\gamma$ - удельный вес воздуха, 1,2 кг/м<sup>3</sup>.

$$\Delta t_{вент} = \frac{Q}{V * \gamma * C_o} = \frac{15}{0.111 * 1.2 * 1000} = 0.113^\circ\text{С}$$

Для умеренной и холодной зоны:

$$Q = -2232 \text{ Вт};$$

$$-2232 < 3513 \text{ Вт};$$

Неравенство не выполняется, так как для кабины исполнения "У" и "ХЛ" приточный воздух приносит дополнительное тепло, а не охлаждает кабину.

Так как неравенство не выполняется, следует рассмотреть возможность нормализации микроклимата посредством системы вентиляции, совмещенной с системой испарительного охлаждения. Воздух с температурой 40°C и относительной влажностью 30 % по J, d диаграмме для влажного воздуха можно охладить только до 23°C с относительной влажностью 80%.

Использование системы вентиляции, совмещенной с системой испарительного охлаждения не нормализует параметры воздуха в кабине температуру от плюс 40 °C до 23 °C с соответствующей влажностью, так как температура приточного воздуха равна требуемой температуре воздуха в кабине.

Для охлаждения воздуха в кабине следует выбирать систему с воздушной холодильной машиной с холодопроизводительностью равной суммарным тепlopоступлениям в кабину: для кабины "У" - 3513Вт, для кабины "ХЛ" - 3476 Вт.

#### **4. Расчет системы отопления унифицированной кабины экскаваторов и кранов для холодного периода года.**

Исходные данные для расчета изложены в разделе I. Термическое сопротивление одежды оператора принимается I кло, т.е. одежда соответствует спецодежде летнего сезона, для бедер допускается одежда с термическим сопротивлением 1,5-2,0 кло.

Расчетная температура воздуха в кабине принимается в соответствии с приложением I и равна 17 °C. По номограмме черт. I РД определяется требуемая для теплового комфорта оператора температура рабочей среды. Она составит 15,5 °C. Учитывая, что температура рабочей среды равна полусумме радиационной температуры и температуры воздуха, определяется требуемая минимальная радиационная температура в кабине. Она составит 14 °C. Схема распределения тепловых и воздушных потоков принимается по черт. 2 рд Оценка радиационного режима кабины "У" выполняется для наружной температуры минус 41 °C, кабины "ХЛ" - для минус 53 °C. 4.2.

Определение радиационного теплового режима кабины Коэффициенты облученности головы, туловища, бедер и ног оператора, фронтальной и тыльной их частей поверхности в соответствии с принятыми геометрическими размерами кабины и расчетным размещением оператора в ней, черт.2 РД, определены с помощью номограмм, черт.4 РД, и представлены в таблице 1.

В соответствии с формулой (2.8) РД радиационная температура зависит от коэффициента облученности и от температуры облучающих поверхностей. Температура внутренних поверхностей стен кабины при

конвективном теплообмене зависит от их термического сопротивления, условий теплообмена и разности температур наружного и внутреннего воздуха и определяется по формуле (2.23) РД.

Таблица. 1

Коэффициенты облученности на поверхность	$\varphi_{\Gamma}^{\Phi}$	$\varphi_{\Gamma}^T$	$\varphi_{\Gamma}^{\Phi}$	$\varphi_{\Gamma}^{\Phi}$	$\varphi_{\Gamma}^{\Phi}$	$\varphi_{\Gamma}^T$
На лобовое остекление	0,45	-	0,39	0,10	0,47	-
На заднее остекление	-	0,44	-	-	-	-
На заднюю стенку	-	0,22	-	-	-	0,26
На боковые окна	0,29	0,12	0,20	0,20	0,05	0,11
На стены боковые	0,05	0,05	0,22	0,48	0,18	0,30
На пол	0,09	0,07	0,13	-	0,12	0,25
На потолок	0,12	0,10	0,06	0,22	0,08	0,08

При этом для остекления  $t_b$ , соответствующую температуре воздушной настилающей струи отопителя принимаем равной 50 °С, для потолка равной плюс 32 °С; для задней стенки - 26 °С.

Данные температуры соответствуют данным экспериментальных исследований Красноярского филиала ВНИИСтройдормаш при отоплении серийных кабин горных машин.

Ввиду того, что пол кабины двойной с вентилируемой отопителем воздушной прослойкой, температуру воздуха у пола со стороны оператора принимаем равной средней расчетной температуре воздуха в кабине, 17 °С.

Общее сопротивление теплопередачи для каждого вида ограждения  $R_o$  определяем по формуле (24).

Сопротивление теплопередачи от воздуха к внутренней стенке кабины  $R_b$  для каждого упомянутого ограждения кабины определяется по формулам (2.25), (2.26), (2.27), (2.28). При этом турбулентный режим течения струи будет при числе

$$Gr * Pr > 1,7 * 10^8$$

Для необдуваемых боковых стен и пола  $R_b = 0,115 \text{ Вт/м}^2$ .

Для пола  $R_b$  у рассчитывается также, как  $R_b$  для поверхностей обдуваемых настилающей струей по формулам (2.25), (2.26), (2.27), (2.28).

Результаты расчета сведены в таблицу 13

По формуле (2.8) определяем радиационные температуры для головы  $t_{R\phi m}$ ,  $t_{RT\epsilon}$  туловища  $t_{R\phi T}$ , бедер  $t_{R\phi\delta}$ , ног  $t_{R\phi H}$ ,  $t_{RTH}$  и для всей поверхности оператора.

Таким образом, находим

$$t_{R\phi T} = 0,4^{\circ}\text{C} (13,6^{\circ}\text{C})$$

$$t_{R\phi H} = 4,8^{\circ}\text{C} (17,0^{\circ}\text{C})$$

$$t_{R\phi r} = -2,7^{\circ}\text{C} (14,0^{\circ}\text{C})$$

$$t_{RT r} = -2,1^{\circ}\text{C} (8,5^{\circ}\text{C})$$

$$t_{RTH} = 2,7^{\circ}\text{C} (11,7^{\circ}\text{C})$$

По формуле (2.16) находим  $t_{R\phi} = 1,5^{\circ}\text{C} (13,5^{\circ}\text{C})$ ; а по (17) -  $t_{Rm} = 6,2^{\circ}\text{C} (-10^{\circ}\text{C})$ .

Общая радиационная температура для оператора, определенная по формуле (2.3), равна  $3,9^{\circ}\text{C} (12,1^{\circ}\text{C})$  что меньше требуемой минимальной  $14^{\circ}\text{C}$ , из условия соблюдения теплового комфорта оператору.

Для кабины исполнения «ХЛ» отклонения от комфортных значений имеют радиационные температуры для бедер и тыльной части головы и ног. Следовательно, для этих поверхностей тела оператора необходима дополнительная одежда с теплоизоляцией до 2 кло.

Для кабины «У» необходимо изменение термического сопротивления остекления, отрицательно влияющего на радиационный тепловой режим оператора.

При двойном остеклении кабины для умеренного климата радиационные температуры будут равны:

$$t_{R\phi m} = 16,6^{\circ}\text{C}; \quad t_{R\phi\epsilon} = 15,8^{\circ}\text{C} \quad t_R = 13,7^{\circ}\text{C}$$

$$t_{R\phi\delta} = 10,8^{\circ}\text{C}; \quad t_{R\phi H} = 18,8^{\circ}\text{C}$$

$$t_{R\phi\epsilon} = 10,3^{\circ}\text{C}; \quad t_{RmH} = 12,3^{\circ}\text{C}$$

$$t_{R\phi} = 15,6^{\circ}\text{C}; \quad t_{Rm} = 11,7^{\circ}\text{C}$$

С учетом утепленной одежды бедер оператора до 1,5 кло условия теплового комфорта будут соблюдены принятой системой отопления и тепловоздухоразводки.

Определение требуемой теплопроизводительности системы отопления кабин.

Теплопроизводительность системы отопления для установившегося теплового режима кабины, определенная из уравнения теплового баланса кабины по формуле (2.21), равна 2363 (2797) Вт.

Коэффициент запаса мощности отопления определяем по формулам (2.39; 2.40; 2.41)

$$P=1.36$$

$$A=1.56$$

Установочную мощность системы отопления определяем по формуле (2.41):

$$Q=3686 (4559) \text{ Вт.}$$

Таблица 2. Результаты расчета

Ограждения кабины	$G_r$	$P_r$	$R_B$ $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$R_o$ $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$t_{\text{вн}}$ $^\circ\text{C}$	$\frac{(R_o)}{T}$ $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{В}$	$(t_{\text{вн}})$ $^\circ\text{C}$	$(K_i)$ $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$R_o^*$ $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$t_{\text{вн}}^*$ $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$K_i^*$ $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$F_i$ $\text{м}^2$	$N_u$
Лобовое остекление	$226,6 \cdot 10^9$	0,703	0,057	0,108	7,2	0,249	26,4	5,208	0,249	29,2	5,208	1,44	671,5
Заднее остекление	$88,3 \cdot 10^9$	0,708	0,71	0,122	-14,1	0,263	4,1	5,208	0,263	7,4	5,208	0,68	493
Боковые окна	-	0,711	0,115	0,166	-28,4	0,307	8,6	5,208	0,307	-4,1	5,208	1,88	-
Задняя стенка	$104,9 \cdot 10^9$	0,708	0,0686	0,506	16,9	0,659	17,8	1,694	0,506	16,9	2,286	0,67	522
Боковая стенка		0,711	0,115	0,666	7,8	0,705	6,4	1,695	0,666	7,8	1,815	2,95	-
Пол		0,711	0,115	0,481	17	0,481	17	2,732	0,481	17	2,732	1,25	-
Потолок	$64,35 \cdot 10^9$	0,707	0,066	0,503	22,4	0,656	23	1,695	0,503	22,4	2,288	1,48	444

Примечание: ( )- для кабины исполнения «ХЛ» с расчетной температурой окружающей среды минус  $53^\circ\text{C}$ ;

\*- для кабины исполнения «У» с двойным остеклением из стеклопакетов.



## Список литературы

1. Шмид М. Эргономические параметры. Перевод с чешского. М.: Мир 1980.-237с
2. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещения. Перевод с венгерского В.М. Беляевой. Под редакцией В.И.Прохорова, А.И.Наумова. – М.: Стройиздат, 1981-248с.
3. Михайлов М.В., Гусева С.В. Микроклимат в кабинах мобильных машин. – М.: Машиностроение, 1977-230 с.
4. Гусева В.М., Ковалев Н.И., Попов В.П., Потрошков В.А. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. –Л.: Стройиздат, 1981-343 с.
5. Богуславский Л.Л. Снижение расхода энергии при работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. –М.: Стройиздат, 1982-256с.
6. Лях Г.Л., Смола В.И Кондиционирование воздуха в кабинах транспортных средств и кранов. –М: Металлургия, 1981-127 с.
7. Поз М.Я. Литинский Э.М. Руководство по теплотехническому расчету и методам теплоаэродинамических испытаний крупноразмерных остекленных ограждающих конструкций. –М.: МНИИТЭП, 1977.-87 с.
8. Машиностроительные материалы. Краткий справочник . –М: Машиностроение, 1980-511 с.
9. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. –М: Машиностроение, 1983.-263 с.
- 10.Карепов В.А., Хайнацкий Г.Ф., Хорош А.И. Системы отопления кабин строительно-дорожных машин. Обзорная информация. Серия 1, выпуск 2. –М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1980.- 37 с.
- 11.Кожемякин А.А., Никошин В.В, Грызлова Н.С. Тепловой расчет кабин: Сб. Вопросы эргономики строительных и дорожных машин, вып.69. –М: ВНИИСтройдормаш, 1975. С 35-41.
- 12.Наумов А.Л., Шилькрот Е.О. Системы лучистого отопления отопления с ленточными излучателями в одноэтажных промышленных зданиях: Сб. Новые системы отопления и вентиляции промышленных зданий, Сб. трудов ЦНИИПромзданий. – м., 1982, с. 13-17.
- 13.Карепов В.А., Вильдерман С.А. Экономическая эффективность применения специальных систем, улучшающих эксплуатационные показатели строительно-дорожных машин при низких температурах: Сб. Экономические проблемы региональной технической политики:

- Тез.докл. краевой научно-технической конф., 1980, 22-23 сентябр, с 19-21.
- 14.Карепов В.А., Иконников В.Г. Работоспособность специальных узлов и систем строительно-дорожных машин в северном исполнении: Сб. Проблемы развития строительной и дорожной техники для работы в условиях Сибири и Севера: Тез.докл. всес. Научно-технической конф., 1981, 23-25 сентября, с.122-125.
  - 15.ГОСТ 12.1.005-76. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования
  - 16.ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
  - 17.ГОСТ 12.1.005-76ю Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.
  - 18.Безверхая Е.В. Проектирование и расчет средств нормализации микроклимата в кабинах технологических мобильных машин: журнал «Строительные дорожные машины». -М: 2014 г. с 46-51.